

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

GUIA DE ESTUDIOS PRELIMINARES PARA DISEÑO Y REHABILITACION DE
PAVIMENTOS.
"CONVENIO INTERADMINISTRATIVO ENTRE LA UNIVERSIDAD DEL CAUCA Y
MOVILIDAD FUTURA S.A.S"



JHON JAIRO ROSADA CERÓN

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA
POPAYÁN
2011

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

GUIA DE ESTUDIOS PRELIMINARES PARA DISEÑO Y REHABILITACION DE
PAVIMENTOS.
"CONVENIO INTERADMINISTRATIVO ENTRE LA UNIVERSIDAD DEL CAUCA Y
MOVILIDAD FUTURA S.A.S"



Presentado por:
JHON JAIRO ROSADA CERÓN
Código: 04042063

INFORME DE PASANTIA
PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL

DIRECTOR:
ING. MARGARITA POLANCO FLÓREZ

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA
POPAYÁN
2011

Nota de aceptación:

Firma del director

Firma del jurado

Firma del jurado

Popayán, 5/08/2011

DEDICATORIA

A Dios por ser el creador del Universo, por haberme acompañado a lo largo de mi vida, quien me guía y me protege de todas las cosas malas, por darme salud, fuerza, serenidad y la oportunidad de realizar un sueño que me trace cuando niño.

A mi lucha, perseverancia, esfuerzo y consistencia, pues sin ella no hubiese alcanzado este gran logro.

A mis padres, por ser la fuente de mi inspiración, apoyo, comprensión y amor. Sus principios, valores y ejemplo; me han enseñado a luchar por lo que quiero. Les dedico éste y todos los triunfos que me quedan por conseguir, porque me dieron la vida y son lo más grande que tengo.

A Jesica Alexandra y Deicy Liliana (Hermanas), todo aquel que lucha será recompensado tarde o temprano. Que todo esto sirva de ejemplo para que no desmayen hasta ver realizados sus sueños.

A Lisseth Carolina Ortiz por su apoyo y amor incondicional.

A la Ing. Margarita Polanco Flórez y al Ing. Carlos Benavidez quienes me orientaron con sus mejores aportes académicos, su dedicación, comprensión y valentía, logrando despertar en mí, motivos de trabajo y de transformación humana.

A la Universidad del Cauca y en especial a la Facultad de Ingeniería Civil por permitirme ser parte de una generación de triunfadores y gente productiva para el país.

CONTENIDO

	pág.
1 JUSTIFICACION	11
2 OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVOS GENERAL	12
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	12
3 CARACTERIZACION DEL TRAMO VIAL	13
3.1 LOCALIZACION DEL TRAMO EN ESTUDIO	13
3.2 USO DEL SUELO EN LA ZONA ADYACENTE A LA VIA	16
3.3 CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DE LA VIA	16
4 EVALUACION FUNCIONAL	16
4.1 INTRODUCCION	16
4.2 EVALUACION DE DAÑOS PAVIMENTOS FLEXIBLES (METODO VIZIR)	17
4.2.1 DETERMINACION DEL INDICE DE DETERIORO SUPERFICIAL, (Is).....	20
4.3 EVALUACION DE DAÑOS	25
4.3.1 TRAMO 1. CARRERA 9ª ENTRE CALLE 1N- CALLE 8ª.....	25
4.3.2 TRAMO 2. CARRERA 11 ENTRE CALLE 8ª - CALLE 1N.....	27
5 EVALUACION DEFLECTOMETRICA	29
5.1 INTRODUCCION	29
5.2 RESULTADOS DE EVALUACION DEFLECTOMETRICA	31
5.3 DETERMINACION DE RESISTENCIA DE LA SUBRASANTE	34
5.3.1 RETROANALISIS DE DEFLECCIONES.....	34
5.3.2 METODO DE RETROANALISIS PROPUESTO POR AASHTO.....	34
5.4 DETERMINACION DE LA RESISTENCIA DE DISEÑO	39
6 EVALUACIÓN GEOTÉCNICA	45
6.1 INTRODUCCION	45
6.2 CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS	45
6.3 TRAMO 1 CARRERA 9ª ENTRE CALLE 1N - CALLE 8ª	47

6.3.1 PERFIL ESTATIGRAFICO.....	47
6.3.1.1 CAPA DE RODADURA.....	50
6.3.1.2 CAPA DE BASE.....	51
6.3.1.3 CAPA DE SUBBASE.....	52
6.3.1.4 CAPA DE SUBRASANTE.....	52
6.3.1.5 CARACTERISTICAS DE RESISTENCIA DE LA SUBRASANTE.....	52
6.4 TRAMO 2. CARRERA 11 ENTRE CALLE 8ª - CALLE 1N	61
6.4.1 PERFIL ESTATIGRÁFICO.....	61
6.4.1.1 CAPA DE RODADURA.....	65
6.4.1.2 CAPA DE BASE.....	66
6.4.1.3 CAPA DE SUBBASE.....	67
6.4.1.4 CAPA DE SUBRASANTE.....	67
6.4.1.5 CARACTERISTICAS DE RESISTENCIA DE LA SUBRASANTE.....	69
7 AUSCULTACION GEOTECNICA POR MEDIO DE GEORADAR	73
7.1 INTRODUCCION	73
7.2 PRICIPIO DE FUNCIONAMIENTO	74
7.2.1 PROPAGACION Y RETROSPECCION DE ONDAS	75
7.3 PROPAGACION DE ONDAS	75
7.4 DETERMINACION DE ESPESORES DE PAVIMENTOS	76
7.4.1 METODOLOGIA.....	76
7.5 RESULTADOS DE USO DE GEORADAR EN EL PROYECTO DE MOVILIDAD. TRAMOS CARRERA 9ª Y CARRERA 11	77
8 CONCLUSIONES	79

ANEXOS.

ANEXO No.1.ESTUDIO GEOTECNICO.EXPLORACION Y MUESTREO EN EL CAMPO

ANEXO No.2.ESTUDIO GEOTECNICO. RESULTADOS DE ENSAYOS DE
LABORATORIO

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA No.1 Niveles de gravedad de los deterioros del tipo a.	18
TABLA No.2 Niveles de gravedad de los deterioros del tipo b.	19
TABLA No.3 Índice del deterioro superficial. (Is).	20
TABLA No.4 Resumen de la evaluación funcional de cada tramo	25
TABLA No.5 Resultados de la evaluación deflectométrica. Carrera 9 ^a	31
TABLA No.6 Resultados de la evaluación deflectométrica. Carrera 11	32
TABLA No.7 Determinación del módulo resiliente de la subrasante en función de la deflexión del sensor más alejado. Tramo de carrera novena.	36
TABLA No.8 Determinación del módulo resiliente de la subrasante en función de la deflexión del sensor más alejado. Tramo de la carrera once.	37
TABLA No.9 Criterio del instituto norteamericano del asfalto para determinar el percentil de diseño.	40
TABLA No.10 Calculo de resistencia de diseño. Carrera novena	41
TABLA No.11 Calculo de resistencia de diseño. Carrera once	43
TABLA No.12 Resultados de la base granular.	51
TABLA No.13 Resumen de resultados de laboratorio del suelo de subrasante	53
TABLA No.14 Calculo del módulo resiliente de diseño por medio de estimaciones de resultados de PDC. Carrera 9 ^a	54
TABLA No.15 Resultados de CBR con muestras inalteradas.	56
TABLA No.16 Resultados de módulos resilientes obtenidos con deflectometro de impacto.	56
TABLA No.17 Resultados de la base granular.	66
TABLA No.18 Resumen de resultados de laboratorio del suelo	67
TABLA No.19 Resultados de CBR con muestras inalteradas	69
TABLA No.20 Calculo de módulo resiliente de diseño por medio de estimaciones de resultados de PDC. Carrera once	70
TABLA No.21 Resultados de módulos resilientes obtenidos con deflectometro de impacto en la carrera once	71
TABLA No.22 Propiedades electromecánicas de los materiales	75
TABLA No.23 Resultados del uso de georadar	77

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA No.1 Localización del proyecto	14
FIGURA No.2 Fotografía carrera 9 ^a	15
FIGURA No.3 fotografía carrera 11	15
FIGURA No.4 Análisis de evaluación funcional. Carrera 9 ^a	21
FIGURA No.5 Representación gráfica DEL Is-If-Id. Carrera 9 ^a	22
FIGURA No.6 Análisis de evaluación funcional. Carrera 11	23
FIGURA No.7 Representación gráfica del Is-If-Id. Carrera 9 ^a	24
FIGURA No.8 Estado superficial del tramo 1. Carrera 9 ^a	26
FIGURA No.9 Estado superficial del tramo 1. Carrera 11	27
FIGURA No.10 Estado superficial del tramo carrera 11 entre calle 5 y calle 4	28
FIGURA No.11 Deflectómetro de impacto	29
FIGURA No.12 Deflectómetro de impacto utilizado en el proyecto	30
FIGURA No.13 Carrera 9 ^a entre Calle 1N- Calle 8 ^a	33
FIGURA No.14 Carrera 11 entre Calle 8 ^a - Calle 1N	34
FIGURA No.15 Esquema de medición de deflexiones con deflectómetro de impacto	35
FIGURA No.16 Perfil de módulos resilientes. Tramo Carrera 9 ^a , entre Calle 1 Norte y Calle 8.	38
FIGURA No.17 Perfil de módulos resilientes. Tramo Carrera 11, entre Calle 8 ^a y Calle 1N.	39
FIGURA No.18 Resistencia de Diseño. Carrera 9 ^a	42
FIGURA No.19 Resistencia de Diseño. Carrera 11	44
FIGURA No.20 Perfil estratigráfico de la Carrera Novena	48
FIGURA No.21 Detalles del apique No.1 realizado sobre la carrera Novena	49
FIGURA No.22 Detalles del apique No.2 realizado sobre la carrera Novena	50
FIGURA No.23 Resistencia de diseño a partir de correlaciones de ensayo PDC. Carrera novena	55
FIGURA No.24 Perfiles de PDC e Índices de Consistencia, Carrera 9 ^a	57
FIGURA No.25 Fotografía del sondeo No.1. En la Carrera Novena	58
FIGURA No.26 Fotografía del sondeo No.2. En la Carrera Novena	59
FIGURA No.27 Fotografía del sondeo No.3. En la Carrera Novena	59
FIGURA No.28 Fotografía del sondeo No.4. En la Carrera Novena	60
FIGURA No.29 Fotografía del sondeo No.5. En la Carrera Novena	60
FIGURA No.30 Fotografía del sondeo No.6. En la Carrera Novena	61
FIGURA No.31 Perfil estratigráfico de la Carrera Once.	62
FIGURA No.32 Fotografía del sondeo No.7 En la Carrera Once	63
FIGURA No.33 Fotografía del sondeo No.8 En la Carrera Once	63
FIGURA No.34 Detalles del apique No.3 realizado sobre la carrera Once	64
FIGURA No.35 Detalles del apique No.4 realizado sobre la carrera Once	65
FIGURA No.36 Detalles del suelo de subrasante en la intercepción de la	

	Carrera 11 con Calle 8. Inicio del tramo de la carrera 11	68
FIGURA No.37	Resistencia de diseño a partir de correlaciones de ensayo PDC. Carrera once	71
FIGURA No.38	Perfiles de Índice de Consistencia y PDC. Carrera 11	73
FIGURA No.39	Georadar utilizado en el proyecto	74
FIGURA No.40	Radagrama típico	76
FIGURA No.41	Apique de Calibración	77

INTRODUCCIÓN

El sistema de transporte está ligado al desarrollo de los Municipios, debido a su papel fundamental dentro de la vida social, política y económica. Los costos de operación del transporte suman gran cantidad de dinero, este monto global depende en gran porcentaje, de las características de la infraestructura vial y del estado en que se encuentra.

En el municipio de Popayán el Plan de Movilidad establece programas, proyectos y metas a corto, mediano y largo plazo, con un horizonte a 20 años y busca dar respuesta a los problemas de movilidad como congestión vehicular, guerras del centavo, accidentes de tránsito y todas formas de violación de las normas de tránsito que a diario son infringidas por los conductores de las empresas de servicio público, para así lograr un uso racional y eficiente de la malla vial de Popayán, permitiendo a los ciudadanos tener oportunidades seguras de transporte bajo principios de economía y eficiencia. La primera fase de este proyecto fue contratada a la Universidad del Cauca con el objeto de hacer los estudios de las troncales principales, correspondientes a los primeros 17.7 kilómetros que serán intervenidos.

La Facultad de Ingeniería Civil cumple esta tarea bajo la Coordinación del docente investigador, Alfonso Murgueitio a cuyo cargo están los levantamientos topográficos, estudios geotécnicos, diseños geométricos, diseños estructurales de los pavimentos, estacionamientos, paraderos de las intersecciones, puntos semafóricos y puentes.

De forma particular, los estudios geotécnicos, visuales y deflectométricos ejecutados para la investigación de la capa superficial y del subsuelo resultan una práctica muy interesante para el desarrollo de habilidades en el ámbito del ejercicio profesional, incluyendo entre otros, la realización de sondeos y apiques. Los sondeos son perforaciones de pequeño diámetro, (< 30 cm), con profundidad de 1.0 – 1.5 m. por debajo de la subrasante, los cuales servirán para determinar el tipo de suelo y espesor que presenta cada estructura, para obtener muestras de laboratorio, y para practicar el ensayo PDC que mide la capacidad estructural in situ de la subrasante. Del mismo modo los apiques son perforaciones de mayor área superficial (1.0- 2.0 m²), igual profundidad y función que los sondeos, utilizados además para obtener muestras para el estudio de resistencia de la subrasante, que en este caso será CBR inalterado. Este estudio se lo complementará con una evaluación estructural utilizando equipos de deflectometría de última generación y el uso de un georadar, junto con una evaluación funcional que determina los tipos de daños en los pavimentos, todo esto con el fin de decidir de qué manera se puede intervenir estos tramos de vía.

1. JUSTIFICACIÓN

Realizar un trabajo de grado como el aquí planteado, es muy importante porque se busca enriquecer los conocimientos teóricos adquiridos en el alma mater a través de la práctica, con lo cual se adquiere confianza y destrezas para enfrentar la vida laboral con más seguridad y mayores posibilidades.

Es importante destacar que en el ejercicio profesional, todo proyecto de ingeniería civil tiene un componente muy significativo que son los estudios geológicos y geotécnicos, ya que estos nos brindan las condiciones y restricciones que puede tener el terreno en estudio y permiten adoptar los parámetros adecuados para el diseño correcto de la estructura.

Por tal motivo es valioso que se establezcan sistemas de gestión en todas las entidades en las que se busque mantener la red vial en condiciones adecuadas de servicio, en los aspectos tanto funcionales como estructurales. De esta manera los estudios geotécnicos se complementan con la realización de inspección visual de los tramos y análisis de deformaciones por medio del uso del deflectómetro de impacto con el ánimo de confrontar las posibles soluciones de rehabilitación.

Este trabajo se convierte además en un aporte de la Universidad a la sociedad, en el sentido que las funciones se realizarán en beneficio de la comunidad de Popayán que se verán favorecidas por las obras de rehabilitación y diseño de la infraestructura vial, además se convertirá en una guía donde se plantearán los estudios geotécnicos para proyectos de rehabilitación y diseños de pavimentos en vías urbanas sirviendo así a los profesionales en geotecnia y a quienes administran proyectos de construcción vial. Quedan entonces en quienes reciban el documento la responsabilidad de hacer adecuaciones y actualizaciones que se consideren necesarias.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Fijar los criterios básicos y requerimientos mínimos que deben reunir los diferentes procesos relacionados con los estudios geotécnicos, visuales y deflectométricos destinados al diseño y rehabilitación de estructuras principales de pavimento para el nuevo Plan Movilidad de Popayán.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar el estado actual de uno de los tramos de vía a estudiar.
- Aplicar la Metodología VIZIR, para la determinación y calificación del estado funcional de la red vial (Tramo vial a estudiar).
- Analizar la información del estudio de deflectometría
- Evaluar y cuantificar los daños tanto estructurales como funcionales del tramo en estudio, utilizando el método anteriormente mencionado.
- Determinación el módulo resiliente de la subrasante a partir de la información del deflectometro
- Realización de una serie de sondeos y apiques para definir las diferentes capas del suelo procesando la información de las muestras ensayadas en el laboratorio de la Universidad del Cauca
- Caracterización de cada una de las capas
- Elaboración de columnas estratigráficas y perfil estratigráfico deducido del suelo en evaluación.
- Elaboración de perfiles de Índices de Consistencia a lo largo de los diferentes tramos.
- Elaboración de perfiles que indiquen la penetración a lo largo de los diferentes tramos.
- Determinar la homogeneidad del suelo a partir de su consistencia evaluada con el Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC).
- Determinar el CBR de la subrasante y escoger por tramo el CBR de Diseño.

3. CARACTERIZACION DEL TRAMO VIAL

3.1 LOCALIZACIÓN DEL TRAMO EN ESTUDIO

Popayán es capital del departamento del Cauca. Se encuentra localizada en el Valle de Pubenza, entre la Cordillera Occidental y Central al suroccidente del país, en las coordenadas 2° 26' 39" N, 76° 37' 17" W. Tiene 258.653 habitantes, de acuerdo al Censo del DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas) elaborado en el año 2005. Su extensión territorial es de 512 km², su altitud media es de 1760 m sobre el nivel del mar, su precipitación media anual de 1.941 mm, su temperatura promedio es de 14/19 °C y dista aproximadamente 600 km de Bogotá.

Según el Plan de Ordenamiento Territorial (P.O.T) del municipio de Popayán en el Capítulo V el cual habla sobre el plan vial y de transporte; se encuentra que la mayoría de viajes de transporte público se realizan de las diferentes puntos cardinales de la ciudad hasta la zona centro y viceversa, según esto se proponen los correderos que necesita la ciudad para lograr un desarrollo vial de acuerdo a las necesidades presentes. Entre los subsectores que componen el estudio de la fase uno del proyecto de movilidad, se estudiaron entre otros los subsectores 1.2, correspondiente a las zonas aledañas a la Intercepción de la facultad de Medicina de la Universidad del Cauca (Popayán), subsector 1.4, correspondiente a los tramos comprendidos entre La glorieta Brisas hasta la piedra Norte continuando por la carrera 8^a hasta el puente sobre el río Cauca y culminando aproximadamente en el club campestre, subsector 2.2, el cual representa la carrera 9^a y 11 entre calle 1n y calle 8^a, y por último el subsector 2.4, el cual corresponde a la calle 7^a y 8^a entre carreras 3^a y 11, en la zona centro de la ciudad.

Con el ánimo de resumir todo el trabajo geotécnico que se debe realizar para un estudio de rehabilitación y diseño de pavimentos urbanos se detalla lo estudiado en el subsector 2.2 el cual compone la carrera 9^a y carrera 11 entre calles 1N y 8^a. Véase localización del subsector 2.2 en la figura 1 y fotografías del sector en la figura 2 y 3.

ZONA DE ESTUDIO

Tramo 1: Carrera 9^a entre Calle 1N y 8^a (ROJO)

Tramo 2: Carrera 11 entre Calle 8^a y 1N (AZUL)

Figura No. 1 Localización del Proyecto



ELABORACION PROPIA

Figura No. 2 Fotografía Carrera 9ª



Figura No. 3 Fotografía Carrera 11



3.2 USO DEL SUELO DE LA ZONA ADYACENTE A LA VÍA

En términos generales el área de influencia de los tramos de interés, comprenden una zona residencial y comercial de alta densidad poblacional, de gran importancia en la ciudad.

Además, la zona abarca algunos de los sitios de interés turísticos más importantes de la ciudad de Popayán. El hecho de que la zona comprenda parte del centro histórico de Popayán, implica que existen zonas que se deben respetar por ser patrimonio municipal, así como que la geometría de las vías es de tipo cerrado.

3.3 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA VÍA

Las calzadas tienen un ancho entre 4 y 9 metros, con andenes de muy poco ancho, que obligan al peatón en ocasiones a caminar por la calzada, además de los postes de servicio público que representan una obstrucción al flujo peatonal.

Los tramos de estudio carecen de cunetas o alguna obra que conduzca las aguas lluvia a los sumideros. Las vías solo presentan bombeo y peraltado para estos fines. En algunos puntos existe carencia de obras de drenaje o se encuentran en mal estado, lo que origina represamiento de aguas lluvia y la saturación de la calzada. En los sentidos en que el flujo vehicular es doble o en ambos sentidos, los movimientos de los autos son más complicados, debido al poco ancho de calzada de las vías.

4. EVALUACION FUNCIONAL

4.1 INTRODUCCION

El inventario de los daños visibles es, generalmente, el primero de un conjunto de pasos necesarios para evaluar la condición global de un pavimento. Esta información es la que determina la localización y la extensión de las investigaciones posteriores, con el fin de establecer un juicio apropiado sobre la condición del pavimento que es objeto de la evaluación.

Los daños en los pavimentos flexibles se deben a múltiples causas, entre las cuales se encuentran las debidas a la mala calidad de las mezclas asfálticas, ocasionadas por fallas en los procesos industriales de su fabricación o a los materiales usados en la producción de las mismas, ya sean los áridos o los ligantes, y por los procesos constructivos, por lo que se exige un mayor control de calidad que se debe aplicar desde el diseño y construcción de la estructura.

Existen muchos tipos de deterioros en los pavimentos y diferentes niveles de gravedad para cada tipo. Estos deterioros se identifican según el manual para la

inspección visual de pavimentos flexibles y rígidos del Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

En el presente capítulo se consigna el estudio funcional realizado para las carreras 9ª y 11 entre calles 8ª y 1N en el centro de la ciudad de Popayán.

4.2 EVALUACIÓN DE DAÑOS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES (METODO VIZIR)

El método VIZIR define la condición del pavimento mediante el índice de deterioro superficial (Is), el cual es un valor adimensional que se calcula a partir del porcentaje del área afectada con respecto de la longitud vial del tramo estudiado.

El valor del índice de deterioro superficial (Is), está comprendido entre el rango de 1 a 7,

Donde;

- 1: Indica una estructura en perfectas condiciones.
- 7: Indica una estructura totalmente destruida.

ESTADO SUPERFICIAL	RANGO (IS)
BUENO	0-3
REGULAR	3-5
MALO	5-7

El primer paso para evaluar la condición global de un pavimento es la realización de la inspección visual de pavimentos, estos deterioros se deben identificar teniendo en cuenta los siguientes factores:

TIPO: Las degradaciones se agrupan en categorías de acuerdo con los mecanismos que la originan. (Fisuras, deformaciones, pérdida de capas estructurales, daños superficiales, entre otros)

GRAVEDAD: Representa que tan crítico es el deterioro en términos de su progresión. Se clasifican como de baja severidad las aberturas menores a 1mm,

media severidad, las aberturas entre 1mm y 3mm, y alta severidad, las aberturas mayores a 3mm.

ESTENSION: Se refiere al área o longitud del tramo estudiado y que es afectada por algún tipo de deterioro, que para nuestro caso se realizó en secciones de 50.0m, conservando el abscisado definido y marcado para la evaluación deflectométrica.

El método clasifica los daños en los pavimentos flexibles en dos importantes categorías:

CATEGORIA A

También denominadas degradaciones tipo A, caracterizan una condición estructural del pavimento sea que ella este ligada a las condiciones de las diversas capas y el suelo de subrasante o simplemente a las capas asfálticas.

CATEGORIA B

También denominadas degradaciones tipo B, su mayoría es de tipo funcional y dan lugar a reparaciones que generalmente no están ligadas a la capacidad estructural de la calzada.

Tabla No. 1

Niveles de gravedad de los deterioros del Tipo A

DETERIORO	NIVEL DE GRAVEDAD		
	①	②	③
Ahuellamiento y otras deformaciones estructurales	Sensible al usuario, pero poco importante Prof < 20 mm	Deformaciones importantes. Hundimientos localizados o ahuellamientos. 20 mm ≤ Prof ≤ 40 mm	Deformaciones que afectan de manera importante la comodidad y la seguridad de los usuarios. Prof > 40 mm
Fisuras longitudinales por fatiga	Fisuras finas en la huella de rodamiento. <6 mm	Fisuras abiertas y a menudo ramificadas.	Fisuras muy ramificadas, y/o muy abiertas. Bordes de fisuras ocasionalmente degradados.
Piel de cocodrilo	Piel de cocodrilo formada por mallas (> 500 mm) con fisuración fina, sin pérdida de materiales.	Mallas más densas (<500mm), con pérdidas ocasionales de materiales, desprendimientos y ojos de pescado en formación.	Mallas con grietas muy abiertas y con fragmentos separados. Las mallas son muy densas (<200 mm), con pérdida ocasional o generalizada de materiales.
Bacheos y parcheos	Intervención de superficie ligada a deterioros del tipo B.	Intervenciones ligadas a deterioros tipo A	
		Comportamiento satisfactorio de la reparación.	Ocurrencia de fallas en las zonas reparadas.

FUENTE: Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras. Instituto Nacional de Vías. INVIAS. Bogotá. 2008. Página 68.

Tabla No. 2
 Niveles de gravedad de los deterioros del Tipo B

DETERIORO	NIVEL DE GRAVEDAD					
	①		②		③	
Fisura longitudinal de junta de construcción	Fina y única < 6 mm		• Ancha (≤ 6 mm) sin desprendimiento o • Fina ramificada		Ancha (≤ 6 mm) con desprendimientos o ramificada	
Fisuras de contracción térmica.	Fisuras finas < 6 mm		Anchas (≤ 6 mm) sin desprendimiento, o finas con desprendimientos o fisuras ramificadas		Anchas (≤ 6 mm) con desprendimientos	
Fisuras parabólicas.	Fisuras finas < 6 mm		Anchas (≤ 6 mm) sin desprendimientos		Anchas (≤ 6 mm) con desprendimientos	
Fisuras de borde	Fisuras finas < 6 mm		Anchas (≤ 6 mm) sin desprendimientos		Anchas (≤ 6 mm) con desprendimientos	
Abultamientos	h < 20 mm		20 mm ≤ h ≤ 40 mm		h > 40 mm.	
Ojos de pescado* (por cada 100m)	Cantidad.	< 5	5 a 10	< 5	> 10	5 a 10
	Diámetro (mm)	≤ 300	≤ 300	≤ 1000	≤ 300	≤ 1000
Desprendimientos: • Pérdida de película de ligante. • Pérdida de agregado	Pérdidas aisladas		Pérdidas continuas		Pérdidas generalizadas y muy marcadas	
Descascaramiento	Prof.(mm)	≤ 25	≤ 25	> 25	> 25	
	Area(m ²)	≤ 0.8	> 0.8	≤ 0.8	> 0.8	
Pulimento agregados	Long. Comprometida < 10% de la sección (100m).		Long. Comprometida ≥ 10% a < 50% de la sección (100m)		Long. Comprometida > 50% de la sección (100m)	
Exudación	Puntual, área específica		Continúa sobre las trayectorias por donde circulan las ruedas del vehículo		Continua y muy marcada, en diversas aéreas	
Afloramientos: • De mortero • De agua	Localizados y apenas perceptibles.		Intensos		Muy intensos	
Desintegración de los bordes del pavimento	Inicio de la desintegración, sectores localizados.		La calzada ha sido afectada en un ancho de 500 mm o más		Erosión extrema que conduce a la desintegración del revestimiento	
Escalonamiento entre calzada y berma.	Desnivel entre 10 mm y 50 mm.		Desnivel entre 50 y 100mm		Desnivel superior a 100mm.	
Erosión de las bermas	Erosión incipiente		Erosión pronunciada		La erosión pone en peligro la estabilidad de la calzada y la seguridad de los usuarios	
Segregación	Long. comprometida < 10% de la sección (100m)		Long. comprometida ≥ 10% a < 50% de la sección (100m)		Long. comprometida > 50% de la sección (100m)	

* Cuando el número de ojos de pescado supere el número y el tamaño descritos en la tabla, se deberá enfrentar como deterioro del tipo A.

FUENTE: Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras. Instituto Nacional de Vías. INVIAS. Bogotá. 2008. Página 69.

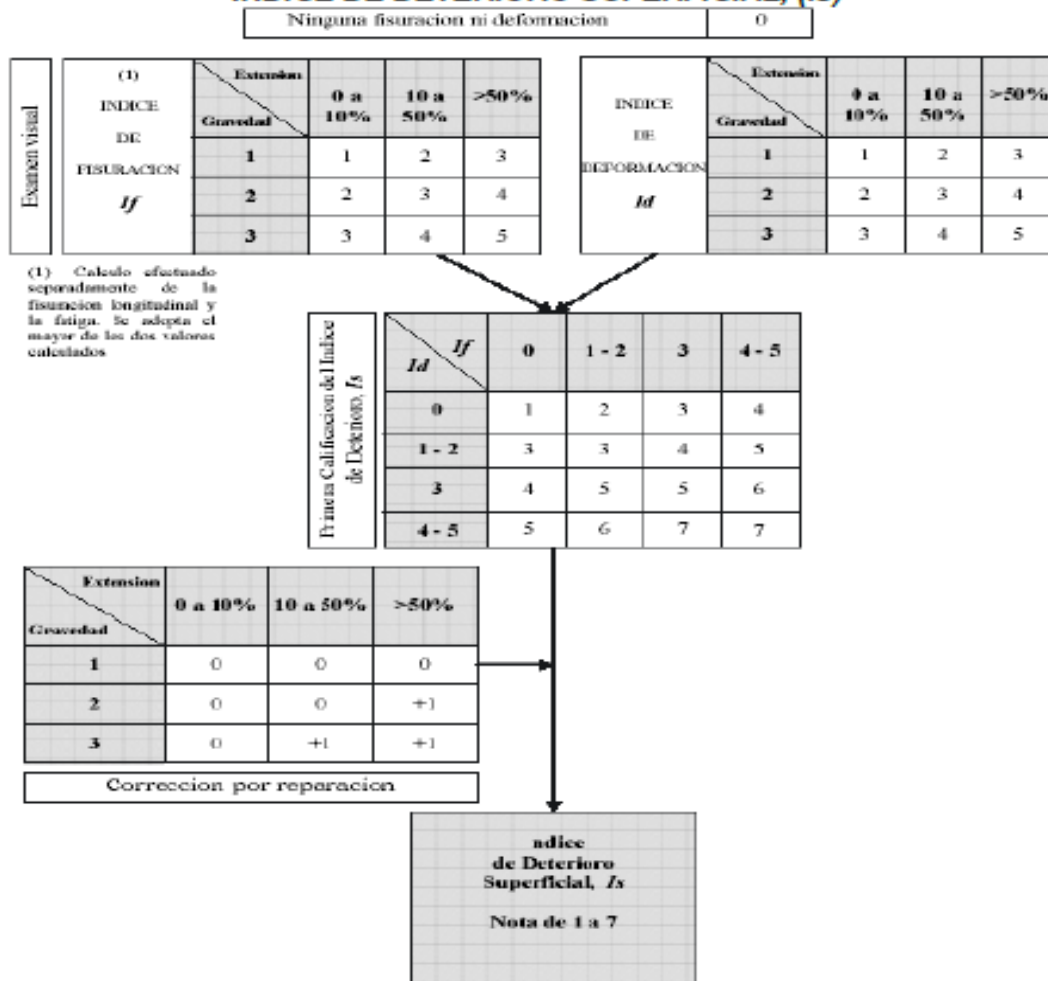
4.2.1 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE DETERIORO SUPERFICIAL, (I_s)

1. Cálculo del Índice de Fisuración (I_f), el cual depende de la gravedad y la extensión de las fisuras y grietas de tipo estructural en cada zona evaluada.
2. Cálculo del Índice de Deformación (I_d), el cual depende de la gravedad y extensión de las deformaciones de origen estructural.

La combinación de los índices I_f e I_d , entrega un primer índice de calificación de la calzada, el cuál debe ser corregido en función a la extensión y calidad de los trabajos de bacheo realizados en el pavimento evaluado.

Tabla No. 3

ÍNDICE DE DETERIORO SUPERFICIAL, (I_s)



FUENTE: Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras. Instituto Nacional de Vías. INVIAS. Bogotá. 2002. Página 77.

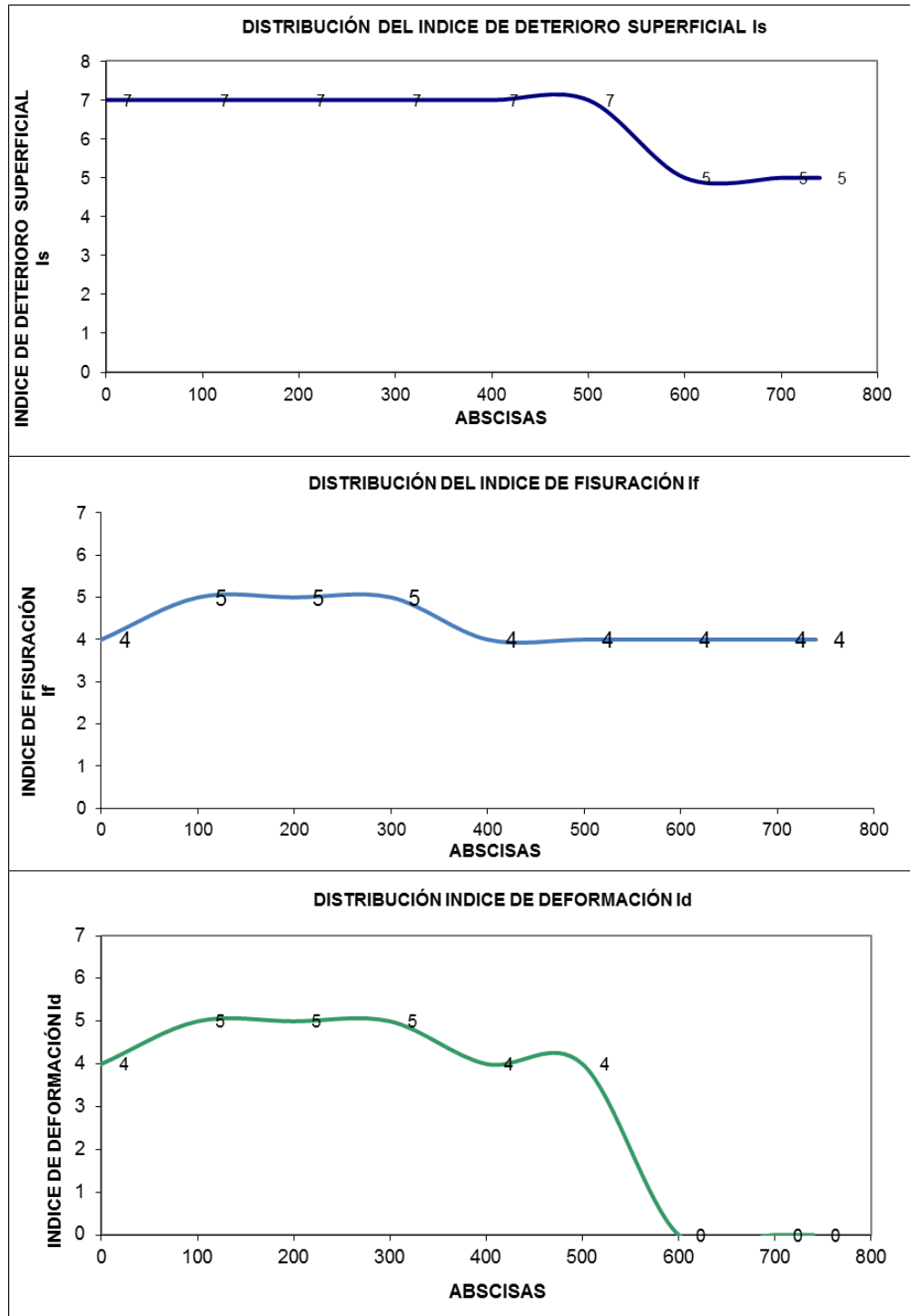
Esta información procesada para el tramo de la carrera 9ª y carrera 11 se presenta a continuación:

CARRERA 9ª ENTRE CALLE 1N - CALLE 8ª

Figura No. 4
 Análisis de la evaluación funcional. Carrera 9ª

ESTRUCTURALES										If	Id	Is
TRAMO		Deformación		Fisuración longitudinal		Fatiga		Parcheo / Reparación				
DE	A	Extensión	Gravedad	Extensión	Gravedad	Extensión	Gravedad	Extensión	Gravedad			
K0+000	K0+100	25%	3	25%	3			25%	3	4	4	7
K0+100	K0+200	80%	3	80%	3			80%	3	5	5	7
K0+200	K0+300	80%	3	80%	3			80%	3	5	5	7
K0+300	K0+400	65%	3	65%	3			65%	3	5	5	7
K0+400	K0+500	50%	3	50%	3			50%	3	4	4	7
K0+500	K0+600	45%	3	45%	3			45%	3	4	4	7
K0+600	K0+700			40%	3			40%	3	4	0	5
K0+700	K0+800			40%	3			40%	3	4	0	5
K0+800	K0+900									0	0	1
K0+900	K1+000									0	0	1
SUPERFICIALES										If	Id	Is
TRAMO		Fisura transversales		Pérdida película de ligante		Pérdida de agregado		Ojos de pescado				
DE	A	Extensión	Gravedad	Extensión	Gravedad	Extensión	Gravedad	Extensión	Gravedad			
K0+000	K0+100			25%	3							
K0+100	K0+200			80%	3							
K0+200	K0+300			80%	3							
K0+300	K0+400			65%	3							
K0+400	K0+500			50%	3							
K0+500	K0+600			45%	3							
K0+600	K0+700			40%	3							
K0+700	K0+800			40%	3							

Figura No. 5
Representación gráfica del Is-If-Id. Carrera 9ª



CARRERA 11 ENTRE CALLE 8ª- CALLE 1N

Figura No. 6
Análisis de la evaluación funcional. Carrera 11

ESTRUCTURALES										If	Id	Is
TRAMO		Deformación		Fisuración longitudinal		Fatiga		Parcheo / Reparación				
DE	A	Extensión	Gravedad	Extensión	Gravedad	Extensión	Gravedad	Extensión	Gravedad			
K0+000	K0+100	30%	3	30%	3			30%	3	4	4	7
K0+100	K0+200	50%	3	50%	3			50%	3	4	4	7
K0+200	K0+300	60%	3					60%	3	0	5	6
K0+300	K0+400	70%	3					70%	3	0	5	6
K0+400	K0+500	25%	3					25%	3	0	4	6
K0+500	K0+600	10%	3	10%	3			10%	3	3	3	5
K0+600	K0+700	10%	3					15%	3	0	3	5
K0+700	K0+800	10%	3					10%	3	0	3	4
K0+800	K0+900									0	0	1
K0+900	K1+000									0	0	1
SUPERFICIALES										If	Id	Is
TRAMO		Fisura transversales		Pérdida película de ligante		Pérdida de agregado		Ojos de pescado				
DE	A	Extensión	Gravedad	Extensión	Gravedad	Extensión	Gravedad	Extensión	Gravedad			
K0+000	K0+100			30%	3							
K0+100	K0+200			50%	3							
K0+200	K0+300			60%	3							
K0+300	K0+400			70%	3							
K0+400	K0+500			25%	3							
K0+500	K0+600			10%	3							
K0+600	K0+700			15%	3							
K0+700	K0+800			10%	3							

Figura No. 7
Representación gráfica del Is-If-Id. Carrera 11

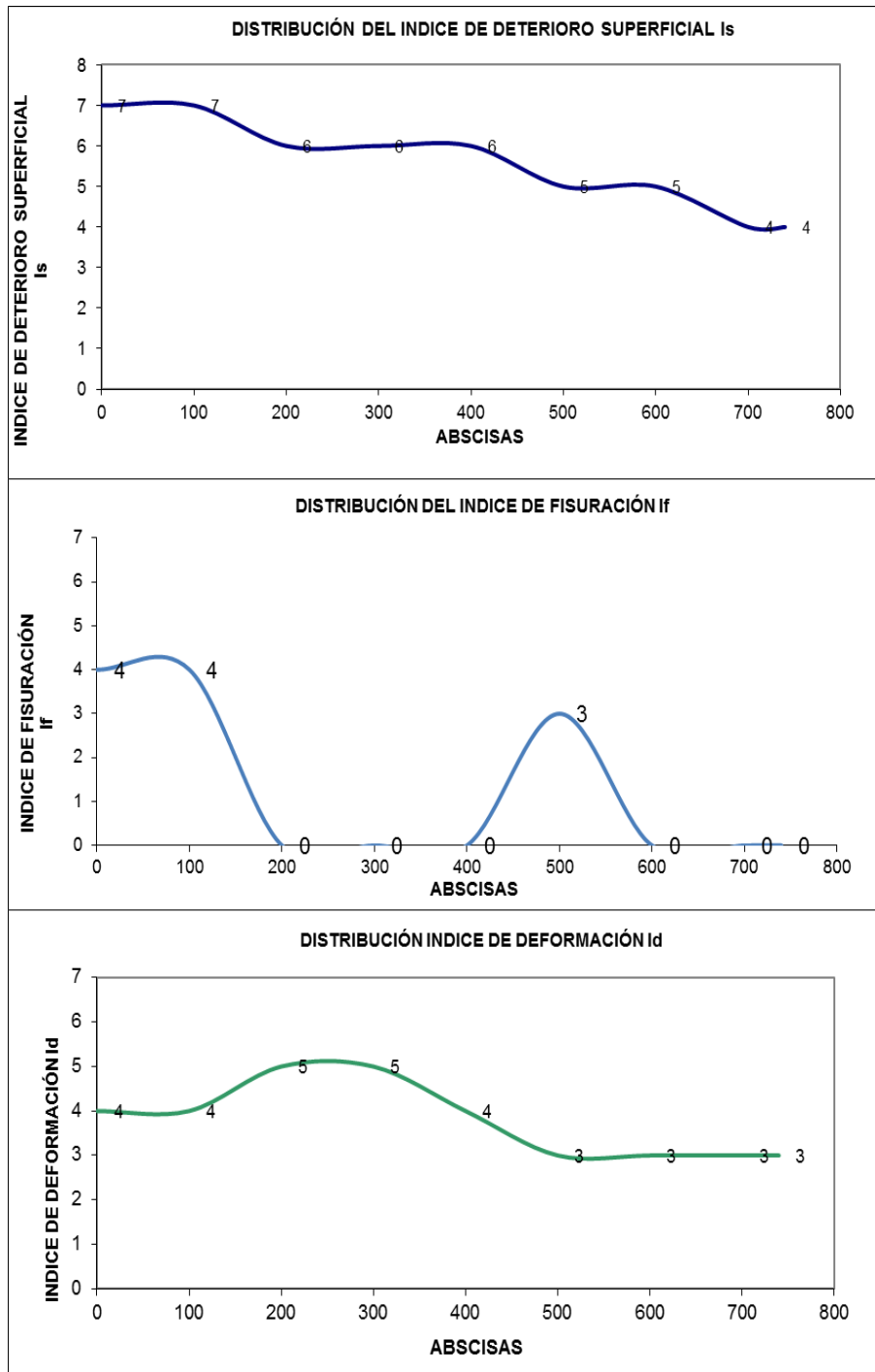


Tabla No. 4
Resumen de la evaluación funcional de cada tramo

Tramo	Rangos de Variación			Calificación del Estado Funcional
	Índice de Fisuración	Índice de Deformación	Índice de Deterioro Superficial	
Tramo 1. Carrera 9ª entre Calle 1N- Calle 8ª	4 - 5	0 - 5	5 – 7	Malo
Tramo 2. Carrera 11 entre Calle 8ª – Calle 1N	0 - 4	3 – 5	4 – 7	Malo

4.3 EVALUACIÓN DE DAÑOS

Analizando la información procesada de la evaluación funcional de cada tramo se pueden establecer las siguientes conclusiones:

4.3.1 Tramo 1. Carrera 9 entre Calle 1N- Calle 8ª

El primer tramo comprendido entre las abscisas K0+ 000 a K0+750, en general está entre mal y regular estado, observándose un pavimento muy fatigado con fisuras piel de cocodrilo, fisuras longitudinales y transversales con nivel de gravedad 2 y 3, igualmente se presentan descascaramientos, baches y diferentes actividades de parcheo y bacheo. Los niveles de índice de deterioro superficial varían entre 5 y 7, calificándose al pavimento en mal estado.

En las figura No. 8, se presentan unas fotografías donde se puede apreciar el aspecto general de la vía.

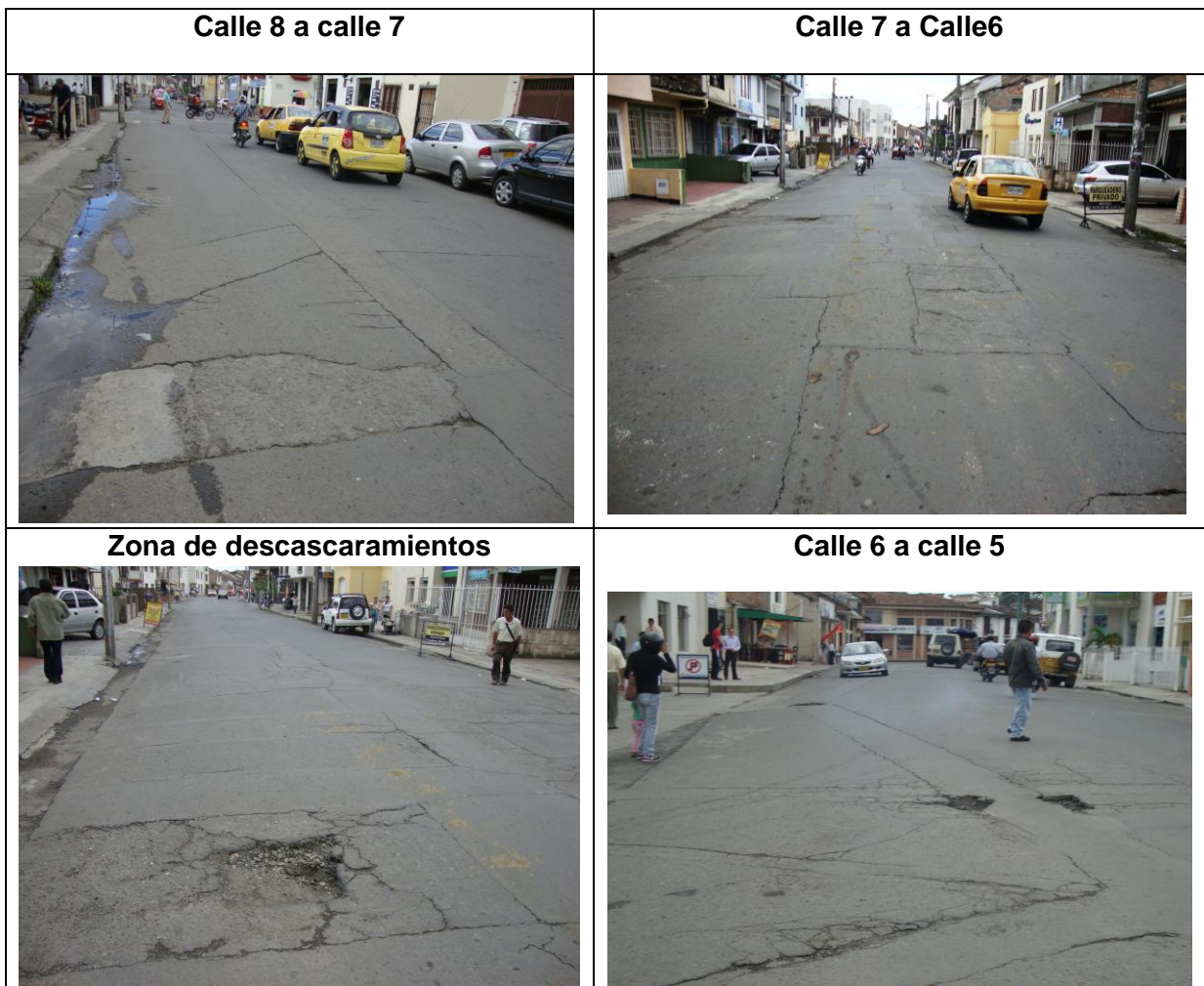
Figura No. 8
Estado superficial del tramo 1 Carrera 9ª



4.3.2 Tramo 2. Carrera 11 entre Calle 8ª – Calle 1N

El segundo tramo entre las calles 8 y calle 1N, con una longitud aproximada de 700m, en general está entre mal y regular estado, observándose un pavimento muy fatigado con fisuras piel de cocodrilo, fisuras longitudinales y transversales con nivel de gravedad 2 y 3, igualmente se presentan descascaramientos, grandes áreas parchadas y una gran cantidad de obras de bacheo entre las calles 8 y calle 5, por obras de reparaciones y reposiciones de redes de acueducto y alcantarillado. Figura No.9

Figura No. 9
Estado superficial del tramo 2, Carrera 11



Entre las calles 4 y 5 el pavimento se encuentra totalmente fatigado con presencia de fisuras longitudinales, piel de cocodrilo, ahuellamientos y baches destapados. Figura No.10

Figura No. 10
Estado Superficial del tramo de la Carrera 11, entre calle 5 y calle 4.

Vista general del sector



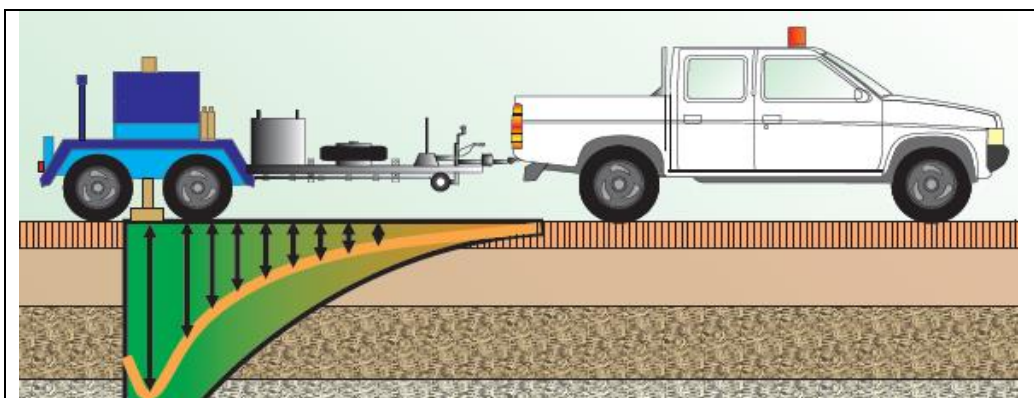
5. EVALUACIÓN DEFLECTOMÉTRICA

5.1 INTRODUCCION

Una de las metodologías utilizadas para evaluar la capacidad estructural del pavimento por método no destructivo es la utilización del deflectómetro de impacto lo cual consiste en la evaluación de la capacidad estructural en pavimentos realizada por métodos no destructivos, consiste en aplicar una carga bajo condiciones dinámicas, estáticas, por impacto, etc., cuyos resultados ayudan a determinar en cada estructura del pavimento, las deformaciones o deflexiones asociadas a la sollicitación inducida, y así poder definir su capacidad para soportar las cargas vehiculares.

A nivel mundial se cuenta con una gran cantidad de equipos para determinar deflexiones en campo, sin embargo, los de mayor uso son los deflectómetros de impacto. Estos equipos aplican una sollicitación al pavimento por impacto y determinan una cuenca de deformaciones a partir de datos de desplazamiento, obtenidos por un arreglo de sensores que nos sirven para determinar la capacidad de soporte del suelo de fundación. Normalmente, se recomienda que la fuerza aplicada al pavimento sea de 40 KN, de manera que las predicciones de los módulos de las capas del pavimento sean representativas de la respuesta del pavimento bajo las cargas de las ruedas de los vehículos pesados que circulan por las carreteras.

Figura No. 11
Deflectómetro de impacto



Con el fin de conocer la respuesta elástica que representa la estructura del pavimento existente, bajo la aplicación de las cargas del tránsito, se realizó la evaluación deflectométrica para la calle 9ª y 11. Esta evaluación deflectométrica se efectuó utilizando un deflectómetro de impacto FWD KUAB 50.

El equipo y procedimiento utilizados en la evaluación deflectométrica guardaron correspondencia con los que emplea actualmente el Instituto Nacional de Vías fijado en la norma INV E-798-07 “Método para medir deflexiones mediante el “Deflectómetro de Impacto”, del tomo IV de las Especificaciones y Normas de Ensayos para Carreteras. El equipo utilizado se presenta en la fotografía de la figura No.12

Figura No. 12
Deflectómetro de Impacto utilizado en el proyecto



5.2 RESULTADOS DE LA EVALUACION DEFLECTOMETRICA

Los registros deflectométricos medidos para la carrera 9ª y 11 se presentan resumidos en las tablas Nos 5 y 6.

En términos generales analizando las tablas Nos 5 y 6, se puede observar que los valores de deflexión sobre las calzadas del subsector presentan en la Carrera Novena, un rango de variación entre 0.4 y 1.3 mm, con un valor promedio de 0.85 mm y un coeficiente de variación de 28%.

Tabla No. 5

RESULTADOS DE LA EVALUACION DEFLECTOMETRICA							
TRAMO	SUBSECTOR 2.2 - CARRERA NOVENA						
Temperatura Estandar = 20°C							
Carga Estandar= 40 KN				Radio de placa de Carga = 5.9 pulg.			
ABSCISA	DEFLEXIONES NORMALIZADAS POR CARGA (µm)						
	0	30	60	90	120	150	180
0+050	493	329	224	173	132	99	76
0+120	844	475	261	156	100	73	57
0+148	658	462	203	115	69	58	49
0+200	929	653	432	294	199	134	98
0+222	784	582	285	167	96	60	45
0+250	792	462	224	118	70	46	34
0+300	543	447	331	233	163	111	77
0+353	947	615	341	197	113	74	56
0+401	786	574	352	218	149	105	83
0+419	684	535	352	230	157	113	88
0+450	1352	907	532	333	206	136	104
0+500	703	534	360	229	146	106	81
0+550	1087	762	389	139	73	51	42
0+600	936	587	297	147	88	61	46
0+650	1263	878	504	285	173	114	81
0+701	728	536	345	216	134	89	64
VALOR PROMEDIO	846						
DESVIACION ESTANDAR	236						
COEFICIENTE DE CORRELACION %	28						

Tabla No. 6

RESULTADOS DE LA EVALUACION DEFLECTOMETRICA							
TRAMO	SUBSECTOR 2.2 - CARRERA ONCE						
Temperatura Estandar = 20°C							
Carga Estandar= 40 KN				Radio de placa de Carga = 5.9 pulg.			
ABSCISA	DEFLEXIONES NORMALIZADAS POR CARGA (µm)						
	0	30	60	90	120	150	180
0+005	2087	1274	598	295	176	105	76
0+037	1160	716	380	243	171	128	100
0+053	915	494	246	157	113	83	68
0+101	1918	1090	538	317	212	149	113
0+131	1937	1293	605	329	186	149	120
0+151	904	685	435	275	191	145	111
0+200	1079	698	406	241	161	122	101
0+250	1560	860	340	193	130	101	81
0+284	1276	917	552	326	193	126	94
0+300	1653	1022	456	215	160	117	94
0+359	2073	1329	645	332	184	139	102
0+400	1685	1057	544	280	159	113	87
0+450	740	385	194	124	87	63	50
0+500	756	384	177	113	80	56	40
0+550	847	464	207	103	59	40	29
0+600	950	584	301	176	119	87	70
0+626	915	491	242	168	129	106	88
0+650	967	546	268	180	137	113	92
0+710	428	286	165	114	88	72	59
VALOR PROMEDIO	1255						
DESVIACION ESTANDAR	508						
COEFICIENTE DE CORRELACION %	40						

En las figuras Nos 13 y 14, se presentan los perfiles deflectométricos de los valores de las deflexiones máximas (Do), obtenidos en los diferentes tramos del subsector.

Figura No. 13
Carrera 9ª entre Calle 1N- Calle 8ª

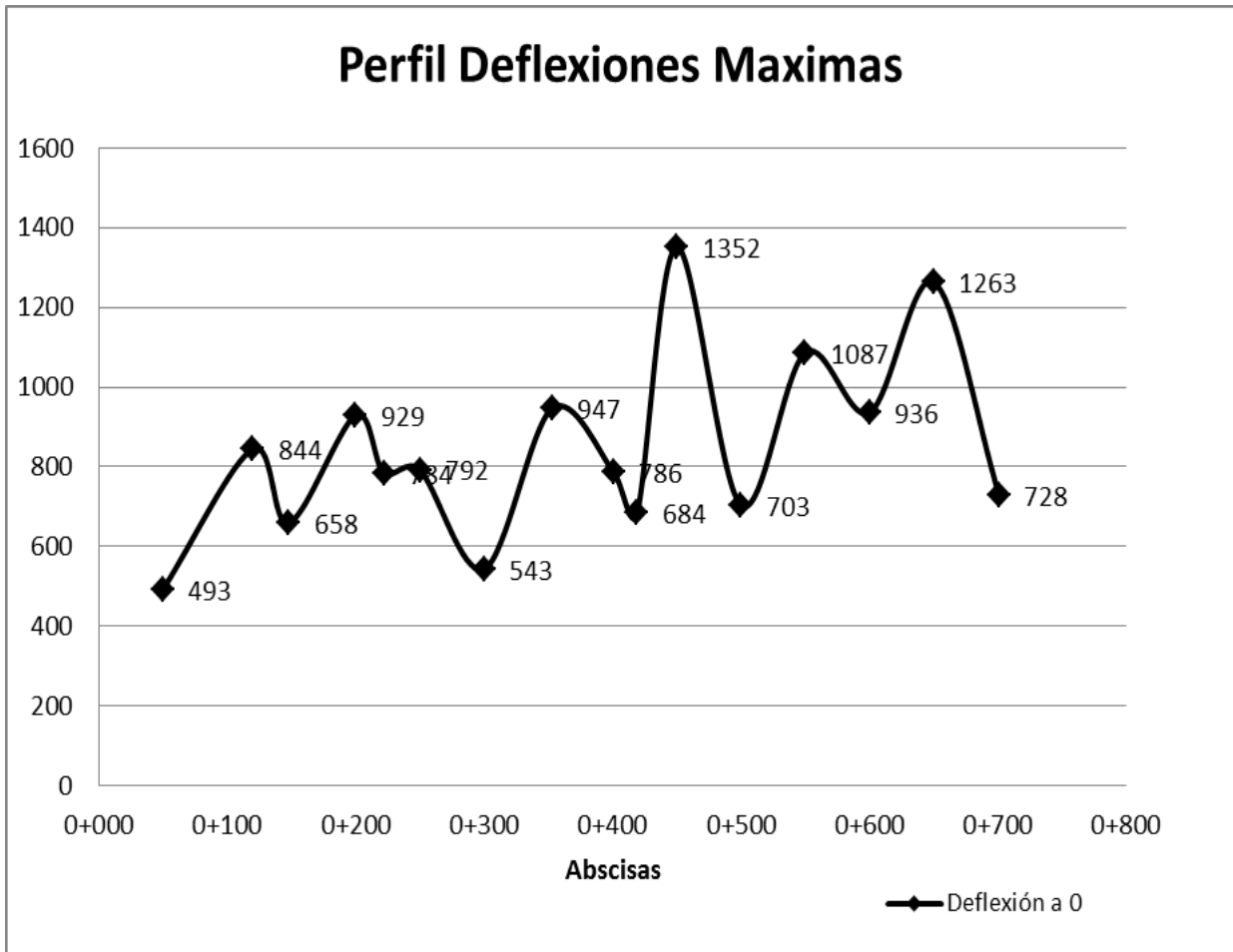
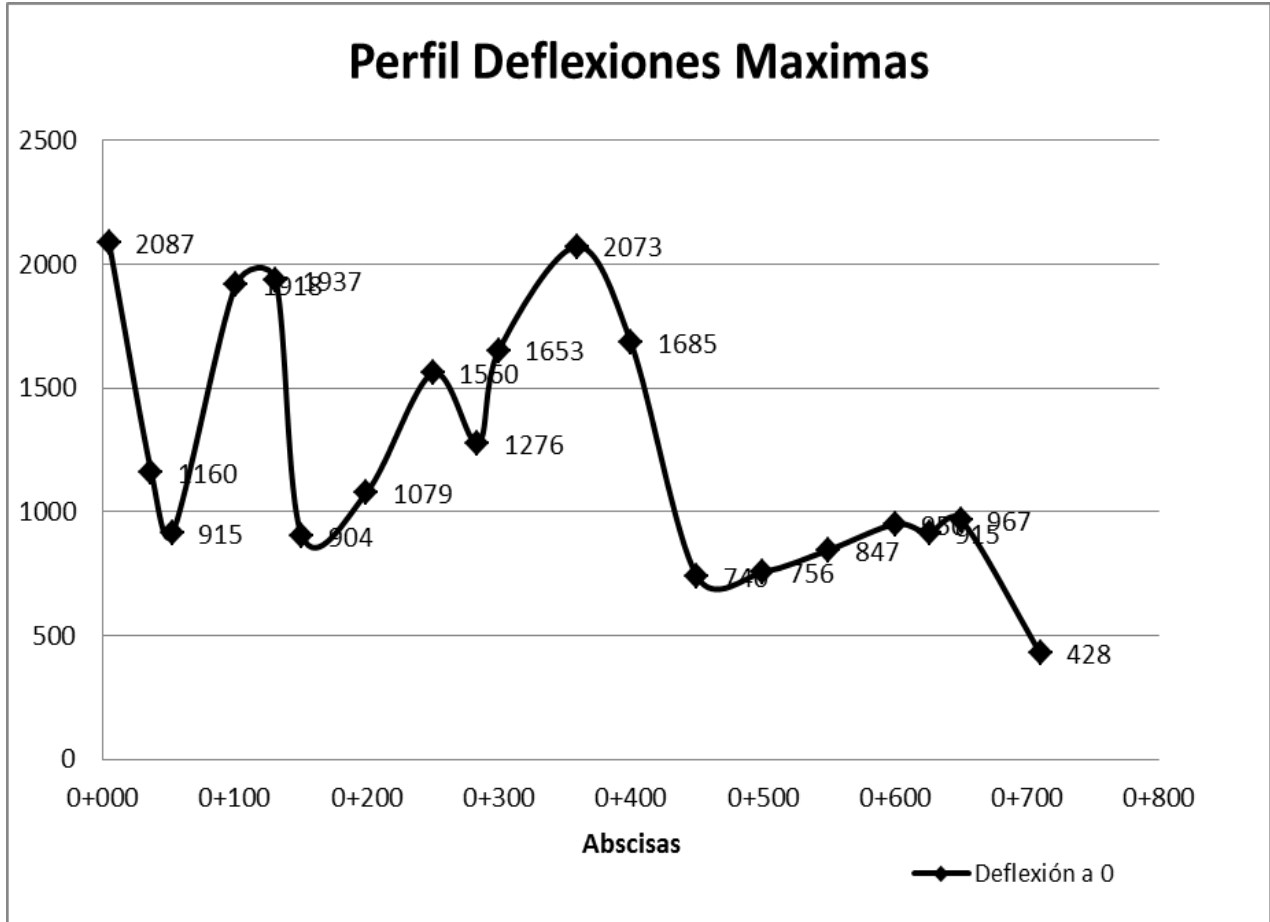


Figura No. 14
Carrera 11 entre Calle 8ª- Calle 1N



5.3 DETERMINACION DE LA RESISTENCIA DE LA SUBRASANTE

5.3.1 Retroanálisis de deflexiones

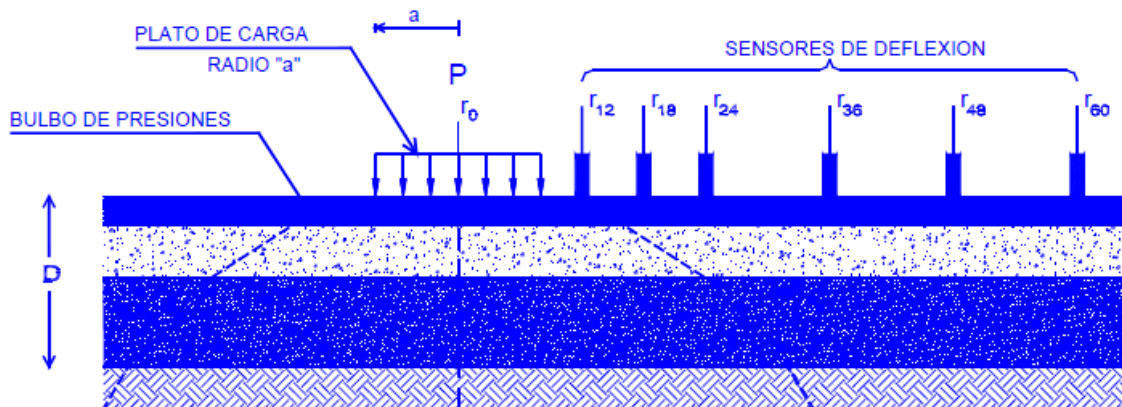
En términos generales el retroanálisis de deflexiones, consiste en determinar los valores de los módulos de las capas de un pavimento, que mejor modelan la forma y magnitud del cuenco de deflexiones medidas. Los módulos determinados de esta manera se consideran representativos de la respuesta estructural del pavimento.

5.3.2 Método de Retroanálisis propuesto por AASHTO

Este método, permite determinar el módulo resiliente de la subrasante (M_r), dato que pueden ser luego utilizados en la evaluación de la capacidad estructural del pavimento. En este método el pavimento se modela como un conjunto de dos

capas, una correspondiente a todas las capas sobre la subrasante y otra correspondiente a la subrasante. Para explicar el procedimiento de retroajuste modular modulado propuesto por AASHTO nos apoyaremos en la siguiente figura:

Figura No. 15
Esquema de medición de deflexiones con deflectómetro de impacto.



El Módulo Resiliente de la subrasante, se calcula usando la siguiente ecuación:

$$Mr = \frac{0.24P}{dr \cdot r} \quad (\text{MPA})$$

Mr = Módulo resiliente de la subrasante, retrocalculado.

P = Carga aplicada.

dr = Deflexión a una distancia "r" desde el centro de carga.

r = Distancia desde el centro de carga.

Con el fin de determinar las condiciones de la resistencia de la subrasante, se realizó el cálculo del módulo resiliente, utilizando los registros deflectométricos del sensor más alejado (D180) y las condiciones de carga del ensayo. Este cálculo para los diferentes tramos evaluados, se presenta sintetizado en los cuadros Nos 7 y 8.

Tabla No. 7
Determinación del Módulo Resiliente de la Subrasante en función de la Deflexión del sensor más alejado. Tramo de Carrera Novena.

TRAMO: CARRERA NOVENA ENTRE CALLE 1N y CALLE 8.		
Carga Estándar = 40 KN		Radio de placa de Carga = 5.9 pulg.
Abscisa	Deflexión D₁₈₀ (μm)	Módulo Resiliente de SUBRASANTE MPA
0+050	76	233
0+120	57	310
0+148	49	363
0+200	98	180
0+222	45	389
0+250	34	513
0+300	77	229
0+353	56	313
0+401	83	212
0+419	88	200
0+450	104	169
0+500	81	219
0+550	42	417
0+600	46	380
0+650	81	217
0+701	64	275

Tabla No. 8
Determinación del Módulo Resiliente de la Subrasante en función de la
Deflexión del sensor más alejado. Tramo de Carrera Once.

TRAMO: CARRERA ONCE ENTRE CALLE 8 y CALLE 1N.		
Carga Estándar = 40 KN		Radio de placa de Carga = 5.9 pulg.
Abscisa	Deflexión D₁₈₀ (µm)	Módulo Resiliente de SUBRASANTE Kg/cm²
0+005	70	231
0+037	53	176
0+053	79	261
0+101	47	156
0+131	45	147
0+151	48	159
0+200	53	175
0+250	66	217
0+284	57	187
0+300	57	187
0+359	53	173
0+400	61	202
0+450	107	354
0+500	132	436
0+550	184	609
0+600	76	250
0+626	61	200
0+650	58	192
0+710	90	296

En las figuras Nos 16, y 17, se presentan graficados los perfiles de módulos resilientes obtenidos en los diferentes tramos.

Figura No. 16
Perfil de módulos resilientes. Tramo Carrera 9ª, entre Calle 1 Norte y Calle 8.

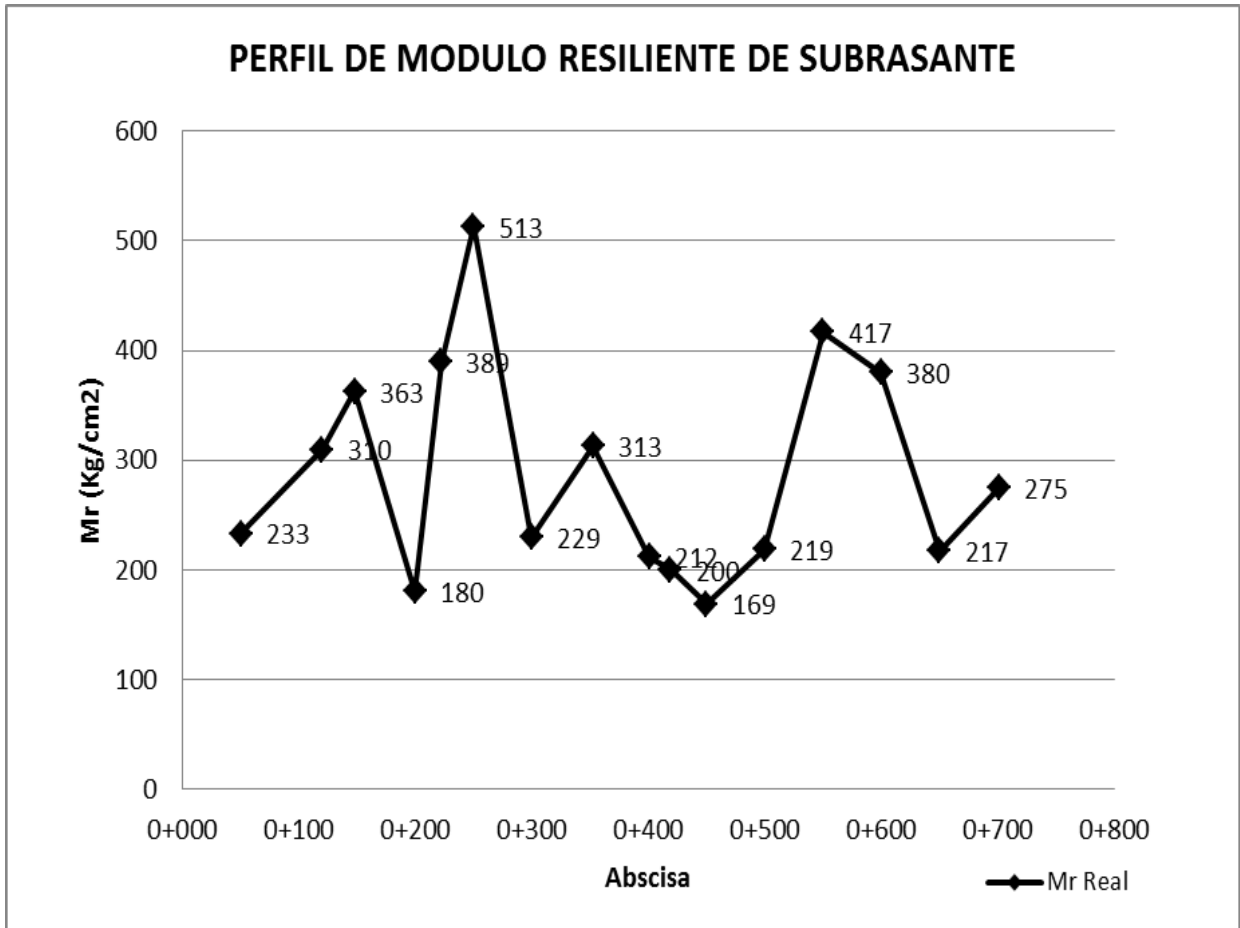
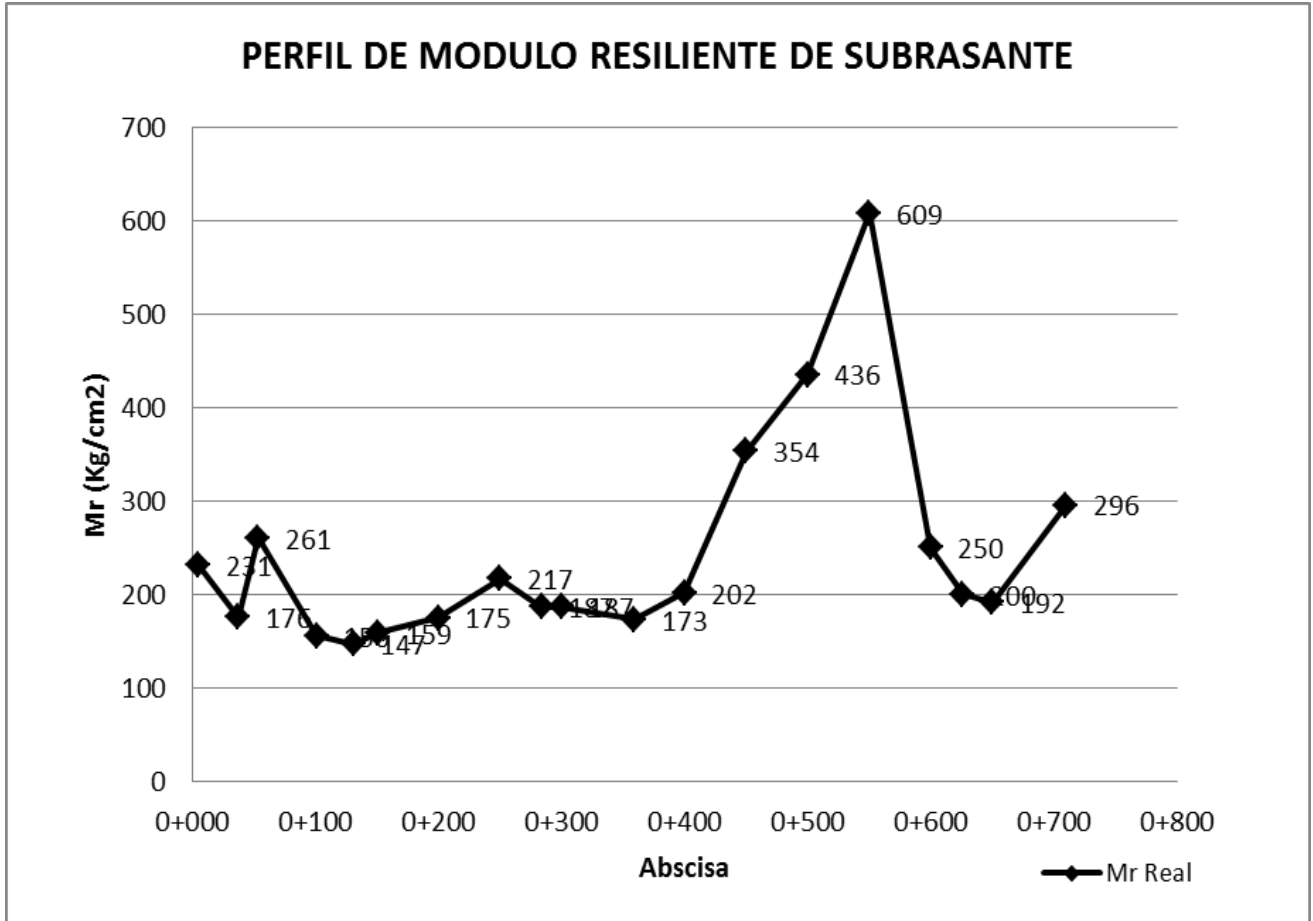


Figura No. 17
Perfil de módulos resilientes. Tramo Carrera 11, entre Calle 8ª y Calle 1N.



5.4 DETERMINACION DE LA RESISTENCIA DE DISEÑO

Para determinar el MR de diseño se recomienda realizar por lo menos cinco (5) MR por unidad de diseño, ya que un menor número puede llevarnos a errores de estimación estadística que se reflejarán en la durabilidad y costo del pavimento.

El MR de diseño para materiales de subrasante o de subrasante mejorada, se determina utilizando los datos obtenidos por deflectometría y siguiendo el criterio del Instituto Norteamericano de Asfalto. Este criterio relaciona el valor de N (número de ejes equivalente a 8,2 ton en el Periodo de análisis) obtenido en el estudio de la variable tránsito y el percentil de diseño, tal como se indica en la tabla No.9.

Tabla No. 9
Criterio del Instituto Norteamericano Del Asfalto para determinar el percentil de diseño

NUMERO DE EJES EQUIVALENTES A 8.2 TN. (N) EN EL CARRIL DE DISEÑO DURANTE EL PERIODO DE ANALISIS	PERCENTIL DE DISEÑO
$\leq 10^4$	60
$10^4 - 10^6$	75
$\geq 10^6$	87.5

El procedimiento a seguir es el siguiente:

- Se ordenan los resultados de los MR de las muestras de la Unidad de diseño de menor a mayor.
- Se determina el porcentaje de valores iguales o mayores a cada uno.
- Se elabora un gráfico que relacione el MR y el porcentaje de valores iguales o mayores, referido al total de valores en análisis.
- Se selecciona el Valor del percentil de diseño de la tabla 9.
- En función de este parámetro se determina el MR correspondiente.

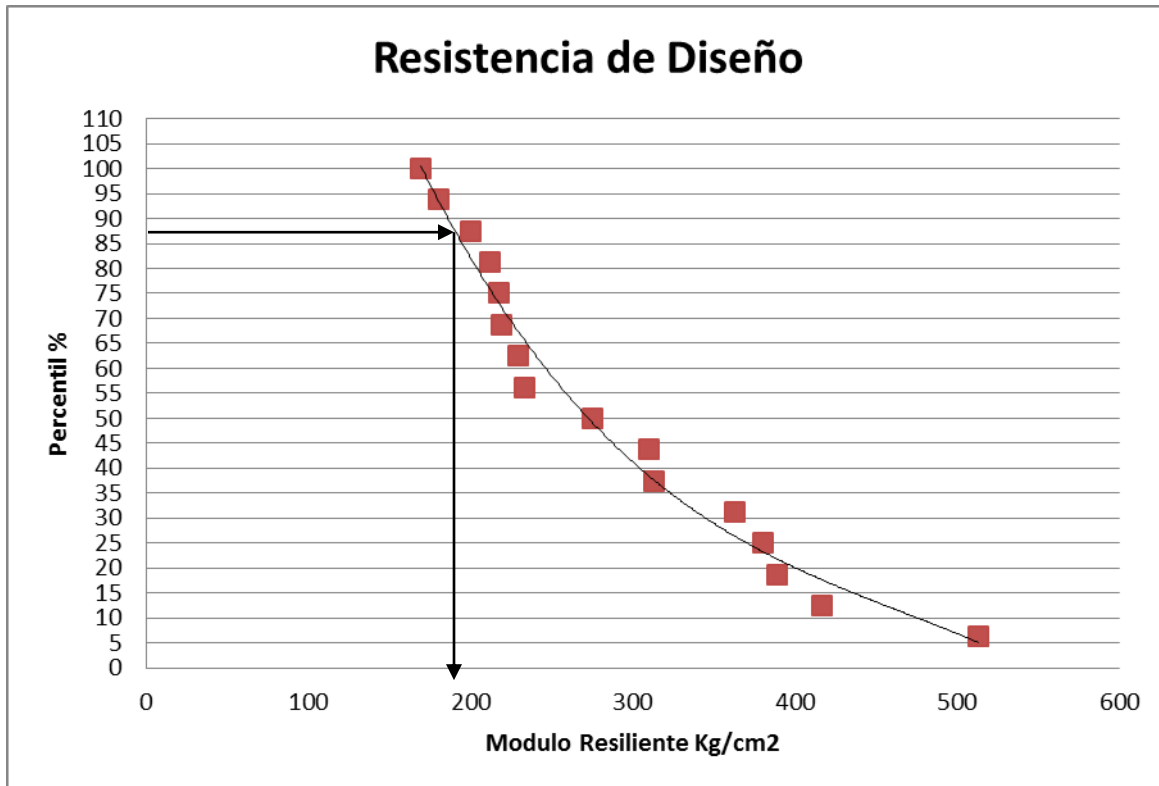
A continuación se presenta el análisis correspondiente para el cálculo del módulo de resiliencia de diseño para los tramos de la carrera novena y carrera once.

Tabla No. 10
Cálculo de resistencia de diseño. Carrera novena

CARRERA NOVENA				
MR Kg/cm ²	MR DE MENOR A MAYOR	MR PROMEDIO Kg/cm ²	NO. VALORES DE MR	% DE VALORES DE MR
233	169	289	16	100
310	180		15	94
363	200		14	88
180	212		13	81
389	217		12	75
513	219		11	69
229	229		10	63
313	233		9	56
212	275		8	50
200	310		7	44
169	313		6	38
219	363		5	31
417	380		4	25
380	389		3	19
217	417		2	13
275	513		1	6

Figura No. 18.

Resistencia de Diseño. Carrera 9ª



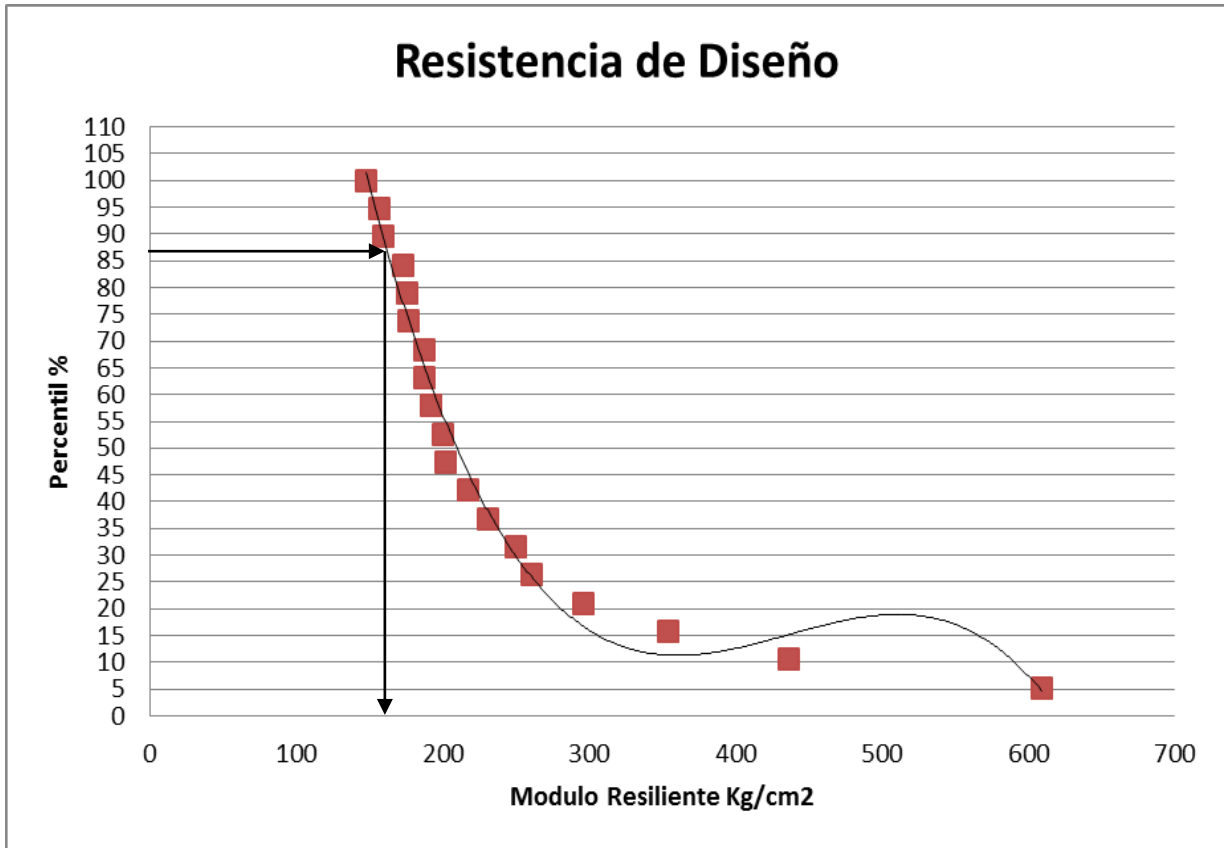
Como el tránsito equivalente para la carrera novena es de tipo pesado ($>10^6$), en la gráfica se debe entrar con 87.5 % (MR mayores o iguales), así determinamos el MR de diseño que es igual a **200 Kg/cm2**.

En el capítulo siguiente determinaremos la correspondencia y similitud de este valor de MR de diseño con el valor de CBR de diseño obtenido a partir de datos de los ensayos de laboratorio y ensayos de PDC.

Tabla No. 11
Cálculo de resistencia de diseño. Carrera Once

CARRERA ONCE				
MR	MR DE MENOR A MAYOR	MR PROMEDIO Kg/cm ²	NO. VALORES DE MR	% DE VALORES DE MR
231	147		19	100
176	156		18	95
261	159		17	89
156	173		16	84
147	175		15	79
159	176		14	74
175	187		13	68
217	187		12	63
187	192		11	58
187	200	243	10	53
173	202		9	47
202	217		8	42
354	231		7	37
436	250		6	32
609	261		5	26
250	296		4	21
200	354		3	16
192	436		2	11
296	609		1	5

Figura No. 19.
Resistencia de Diseño. Carrera 11.



Como el tránsito equivalente para la carrera novena es de tipo pesado ($>10^6$), en la gráfica se debe entrar con 87.5 % (MR mayores o iguales), así determinamos el MR de diseño que es igual a **180 Kg/cm²**.

6. ESTUDIO GEOTECNICO

6.1 INTRODUCCION

Se puede definir como el conjunto de actividades que comprenden la investigación del subsuelo, y la caracterización de los suelos que conforman el perfil estratigráfico con el fin de diseñar la estructura del pavimento y dar las recomendaciones para la construcción de la misma.

Con el fin de conocer el perfil estratigráfico de un tramo de vía se pueden realizar estudios preliminares y estudios definitivos y es conveniente realizarlos cuando se trata de diseñar estructuras de pavimento para vías nuevas. En este caso en el cual todas las vías están construidas y tienen una estructura de pavimento ya sea flexible o rígido se empleará solo el estudio definitivo, compuesto por una serie de sondeos y apiques hasta profundidades variables entre 1.5m y 2.0m. En los sondeos se tomaron muestras alteradas para determinar la humedad y los límites de consistencia del suelo y se efectuaron pruebas de PDC con el fin de evaluar la consistencia del suelo, su variación con la profundidad, y además a partir de esta información se puede hacer investigaciones posteriores que permitan encontrar correlaciones de resistencia de la subrasante. En los apiques se tomaron muestras alteradas e inalteradas para caracterizar los suelos que constituyen el perfil estratigráfico y determinar los valores de CBR del suelo de subrasante, al igual que las características de la misma.

Para este estudio se pueden realizar estudios preliminares y estudios definitivos y es conveniente realizarlos cuando se trata de diseñar estructuras de pavimento para vías nuevas. En este caso en el cual todas las vías están construidas y tienen una estructura de pavimento ya sea flexible o rígido se empleará solo el estudio definitivo.

6.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS

Los ensayos de laboratorio son utilizados para caracterizar a los suelos encontrados en las áreas o sitios de estudio, con el objeto de determinar las propiedades físicas de cada suelo muestreado.

Los ensayos más utilizados realizados en este trabajo son:

-Análisis granulométrico: Determina cuantitativamente la distribución de los diferentes tamaños de las partículas de suelo.

-Límites de Atterberg: Se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos. Los límites se basan en el concepto de que en un suelo de grano fino solo pueden existir 4 estados de consistencia según su humedad. Así, un suelo se encuentra en estado sólido, cuando está seco. Al agregársele agua poco

a poco va pasando sucesivamente a los estados de semisólido, plástico, y finalmente líquido. Los contenidos de humedad en los puntos de transición de un estado al otro son los denominados límites de Atterberg.

Los ensayos se realizan en el laboratorio y miden la cohesión del terreno y su contenido de humedad, para ello se forman pequeños cilindros de 3mm de espesor con el suelo. Siguiendo estos procedimientos se definen tres límites:

1. Límite líquido: Cuando el suelo pasa de un estado semilíquido a un estado plástico y puede moldearse. Para la determinación de este límite se utiliza la cuchara de Casagrande.
2. Límite plástico: Cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y se rompe.
3. Límite de retracción o contracción: Cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado sólido y deja de contraerse al perder humedad.

-Contenido de humedad: El conocimiento de la humedad natural de un suelo es el peso de agua referido al peso seco del suelo y nos permite estimar su posible comportamiento y resistencia comparándolas con otros parámetros como los límites de consistencia.

-CBR: Es una medida de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo, bajo condiciones de densidad y humedad cuidadosamente controladas y se expresa en porcentaje como la razón de la carga unitaria que se requiere para introducir un pistón dentro del suelo, sobre la carga unitaria requerida para introducir el mismo pistón a la misma profundidad en una muestra patrón (Grava bien gradada). Una correlación del CBR con el módulo de resiliencia se expresa en la siguiente ecuación:

$$MR \text{ (Kg/cm}^2\text{)} = 2555 * \%CBR^{0.61} * 0.07$$

-Penetración dinámica de cono (PDC): Este ensayo mide la penetración por golpe bajo carga constante en la subrasante. Esta penetración es función de la resistencia de corte in situ. El perfil de penetración obtenido, no sólo da una indicación de las propiedades de los suelos sino que también permite conocer el valor del CBR in situ y del Módulo Efectivo de cada una de las capas que conforman la estructura del pavimento, esto sí se utilizan correlaciones adquiridas por investigaciones anteriores para el tipo de suelo de la región o a su vez para determinar dichas correlaciones. Una de las correlaciones de PDC con CBR que se utiliza en el proyecto con el ánimo de hacer comparaciones con los resultados del uso del deflectómetro de impacto es la expresada por el cuerpo de ingenieros de USA, la cual se indica a continuación:

$$CBR = 292 / (PDC^{1,12}) \quad \text{(Cuerpo de Ingenieros de USA)}$$

PDC (mm/golpe)

-Índice de consistencia: Con el índice de consistencia puede evaluarse la consistencia actual que presenta el suelo en base al límite líquido, índice de plasticidad y el contenido de humedad natural que presente el suelo, y se define como que es:

$$I_c = (LL - W_n) / (LL - LP)$$

Dónde:

I_c = Índice de consistencia del suelo.

W_n = Contenido de humedad actual del suelo.

LL = Límite líquido.

IP = Índice de plasticidad.

A continuación se presenta el estudio geotécnico realizado para los tramos de la carrera novena y once.

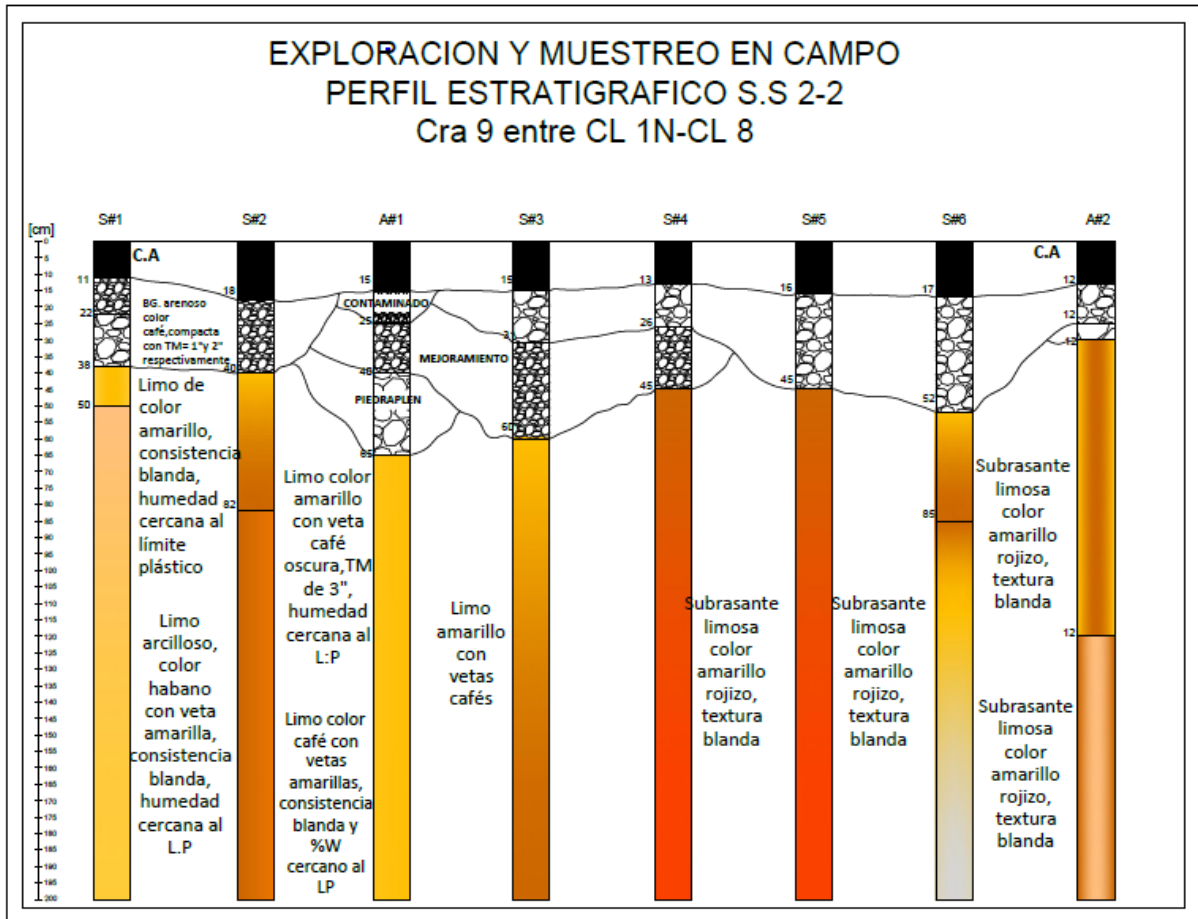
6.3 TRAMO 1 CARRERA 9 ENTRE CALLE 1N - CALLE 8

6.3.1 Perfil Estratigráfico

Como se puede apreciar en las columnas estratigráficas correspondientes a este tramo (ANEXO 1) y en el perfil estratigráfico deducido que se presenta en la figura No.20, la estructura del pavimento en el sitio, está constituida por:

- Una carpeta asfáltica con espesor variable entre 11.0cm y 18.0cm.
- Una base granular con espesor variable entre 11.0cm y 35.0cm.
- Una subbase granular con espesor variable entre 0.0cm y 20.0cm hasta el sondeo No.4.
- Una capa de mejoramiento con espesor variable entre 30.0cm y 40.0cm en una zona localizada entre el sondeo No.3 y apique No.2
- La Capa de Subrasante constituida por un suelo fino limoso de color amarillo rojizo y amarillo con vetas cafés.

Figura No. 20
Perfil estratigráfico de la Carrera Novena



En las figuras Nos 20 y 21 se presentan detalles de los dos apiques realizados en la carrera novena.

Figura No. 21
Detalles del apique No.1 realizado sobre la carrera Novena.



Figura No. 22
Detalles del apique No.2 realizado sobre la carrera Novena.



Las Características de los materiales que constituyen las diferentes capas de suelo se describen a continuación:

6.3.1.1 Capa De Rodadura

La capa de rodadura en este sector está constituida por una superposición de capas asfálticas, como resultado de las diferentes actividades de mantenimiento, la capa asfáltica superficial se encuentra entre regular y mal estado con alto grado

de figuración, con fisuras tipo piel de cocodrilo, fisuras en bloque, fisuras longitudinales y transversales, descascamientos, baches y parches.

6.3.1.2 Capa De Base

La capa de base tiene espesor variable entre 11 y 35 cm, correspondiendo los mayores valores de espesor a los sitios donde no se presenta capa de subbase, que prácticamente corresponde a la zona final de la Carrera 9 entre las calles 5 y 8, que corresponden a los sondeos Nos 5, 6 y el apique No.2.

Los materiales de base corresponden a suelos granulares arenosos, con tamaño máximo entre 1 y 2 pulgadas, compuestos de agregados triturados y aluviales, de color café y de color gris oscuro.

Las características de esta capa granular, evaluada a partir de las muestras tomadas en los apiques, se resume en la tabla No. 11

Como se puede apreciar en tabla No.11, el material granular correspondiente a la base no presenta plasticidad y tiene una granulometría que aunque encaja dentro de la especificación presenta unos niveles altos de partículas arenosas y finas.

Tabla No. 12
Resultados de la Base Granular.

<i>Características Granulométricas y de Plasticidad de la Base Granular</i>			
	Apique No. 1	Apique No. 2	Especificación
TAMIZ	% Pasa	% Pasa	% Pasa
1½"	100	100	100
1" (25,4mm)	90	90	70 - 100
¾" (19,05mm)	85	83	60 - 90
3/8" (9,5mm)	73	70	45 - 75
No.4 (4,75mm)	62	55	30 - 60

No.10 (1,70mm)	50	42	20 - 45
No.40 (0,425mm)	35	25	10 - 30
No.200 (0,075mm)	22	14	5 - 15
Índice de Plasticidad	NP	NP	
Humedad Natural	13.4 %/	9.6 %	
Clasificación SUCS	<i>SM</i>	<i>GM</i>	

6.3.1.3 Capa De Subbase

En esta carrera, solamente se encuentra una capa de subbase entre la calle 1N y la calle 5 con espesor que varía entre 16 y 20 cm y en el resto de esta carrera novena, no se presenta esta capa debido a los mejoramientos realizados y al mayor espesor de material de base entre la calle 5 y calle 8.

Esta capa está constituida por un material granular arenoso de origen aluvial con presencia de sobretamaños mayores a 3 pulgadas.

6.3.1.4 Capa De Subrasante

La subrasante, o capa de suelo natural, corresponde a un suelo fino limoso, de color variable entre café, suelo amarillo rojizo y amarillo con vetas cafés, típico de las cenizas volcánicas de la formación Popayán, clasificado según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos como un MH y CH. Las propiedades físicas y mecánicas de este suelo se presentan en las tablas No.12 y 13

6.3.1.5 Características de Resistencia de la Subrasante.

Para la evaluación de la resistencia del tramo, se combinaron varias alternativas, inicialmente se realizaron estimaciones de la resistencia en los sondeos utilizando el penetrómetro dinámico de cono, posteriormente se realizaron apiques en sitios representativos para medir la resistencia CBR utilizando muestras inalteradas y para complementar los estudios de resistencia se realizaron evaluaciones deflectométricas con deflectómetro de impacto, para determinar con mayor

frecuencia los valores de los módulos resilientes de la subrasante. Esta información del tramo se presenta sintetizada en las tablas No. 12, 13,14 y 15.

Tabla No. 13
Resumen de resultados de laboratorio del suelo de subrasante

Ap/Son	Prof (m)	Wn%	LL %	Lp %	lp %	Ic	Indice PDC mm/golpe	Clasificación SUCS
S#1	0,50	65,2	86,0	56,1	29,9	0,70	73	MH
	1,0	79,8	95,7	53,8	41,9	0,38		MH
	1,30	107,6	120,5	61,2	59,3	0,22		MH
	1,70	75,5						
S#2	0,50	45,6	58,3	34,1	24,2	0,52	113	MH
	1,0	39,8	54,5	27,2	27,3	0,54	60	CH
	1,30	59,3	68,0	33,9	34,1	0,26		MH
	1,60	50,3						
A#1	0,25 -0,40	30,1	45,4	25,5	19,9	0,77		CL
	0,65	55,9	69,1	32,6	36,5	0,36	48	MH
	1,10	59,7					33	
	1,70	65,3						
S#-3	1,00	57,8	66,0	40,0	26,0	0,32	77	MH
	1,30	56,2					165	
	1,60	22,4	55,9	34,7	21,2	1,58		MH
S#4	0,50	60,5	75,2	42,6	32,6	0,45	47	MH
	0,90	44,3						
	1,50	42,1						
S#5	0,60	51,6	69,7	39,6	30,1	0,60	69	MH
	1,00	61,2						
	1,50	57,0						
S#-6	0,60	44,6	57,3	31,9	25,4	0,50	58	MH
	0,90	52,5	58,5	32,3	26,2	0,23		MH

Ap/Son	Prof (m)	Wn%	LL %	Lp %	Ip %	Ic	Indice PDC	Clasificación SUCS
	1,50	43,8	57,7	29,2	28,5	0,49		MH
	0,70	40,7	48,8	28,9	19,9	0,41	36	ML
A#2	1,20	60,0	65,0	32,5	32,5	0,15	203	MH
	1,55	59,1						
	2,00	60,5						

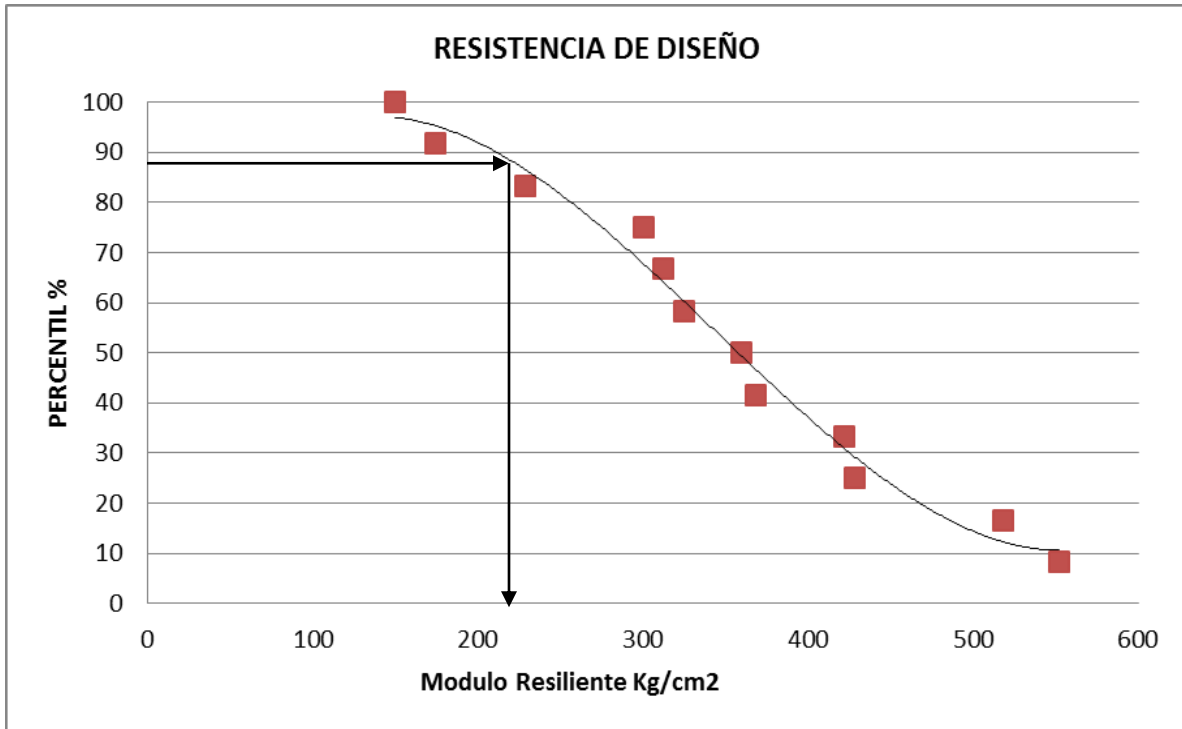
Convenciones: Wn%: Porcentaje de Humedad, LL%: Limite Líquido, IP%: Índice de Plasticidad

Utilizando la correlación de PDC con CBR expuesta por el cuerpo de ingenieros de USA se obtienen los módulos resilientes correspondientes para cada tramo y se determina el módulo resiliente de diseño

Tabla No. 14
Cálculo del módulo resiliente de diseño por medio de estimaciones de resultados de PDC. CARRERA 9ª

CARRERA NOVENA			PROMEDIO MR	MR DE MENOR A MAYOR	No. Valores de MR	% de Valores de MR
PDC mm/golpe	CBR %	MR Kg/cm2				
73	2.4	312	345	150	12	100
113	1.5	228		174	11	92
60	3.0	360		228	10	83
48	3.8	422		301	9	75
33	5.8	552		312	8	67
77	2.3	301		325	7	58
165	1.0	174		360	6	50
47	3.9	428		368	5	42
69	2.5	325		422	4	33
58	3.1	368		428	3	25
36	5.3	519		519	2	17
203	0.8	150		552	1	8

Figura No. 23
Resistencia de diseño a partir de correlaciones de ensayo PDC. Carrera novena



Como el tránsito equivalente para la carrera novena es de tipo pesado ($>10^6$), en la gráfica se debe entrar con 87.5 % (MR mayores o iguales), así determinamos el MR de diseño que es igual a **210 Kg/cm²**.

En el capítulo anterior determinaremos el módulo resiliente a partir de datos del deflectómetro de impacto y se puede notar la gran similitud y correspondencia de este valor, concluyendo además que las correlaciones utilizadas para los valores de PDC son apropiadas y se pueden seguir utilizando para otros proyectos.

Tabla No. 15
Resultados de CBR con muestras inalteradas

Apique.	Localización	Densidad Seca gr/cc	SIN SUMERGIR			SUMERGIDO		
			W % penetración	CBR 0.1 “	CBR 0.2 “	% W penetración	CBR 0.1 “	CBR 0.2 “
Apique No. 1	Cra 9 # 2-64	1.028	58.0%	7.2%	6.6%	45,5%	5.7%	5.7%
Apique No. 2	Cra 9 # 7-32	1.142	46.6%	1.3%	1.3%	34,7%	2.5%	2.5%

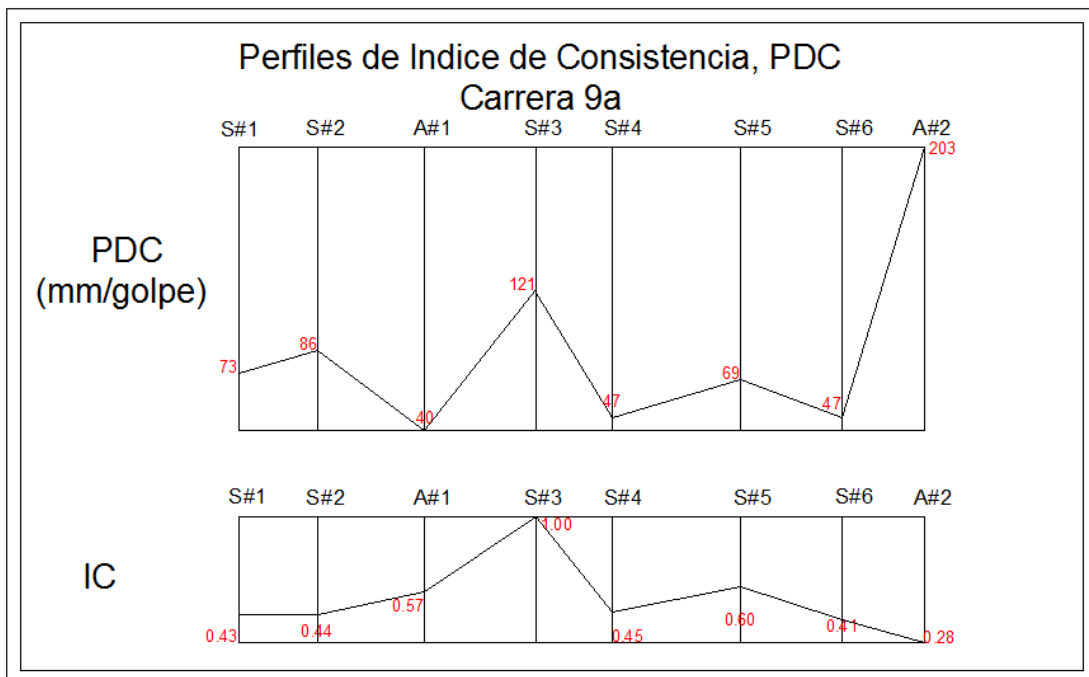
Tabla No. 16
Resultados de módulos resilientes obtenidos con Deflectómetro de Impacto.

Abscisa	Modulo Resiliente Retrocalculo. Mpa	Modulo Resiliente Retrocalculo. Kg/cm ²
0+050	71	233
0+120	94	310
0+148	110	363
0+200	55	180
0+222	118	389
0+250	155	513
0+300	70	229
0+353	95	313
0+401	64	212
0+419	61	200
0+450	51	169
0+500	66	219

Abscisa	Modulo Resiliente Retrocalculo. Mpa	Modulo Resiliente Retrocalculo. Kg/cm ²
0+550	126	417
0+600	115	380
0+650	66	217
0+701	83	275

Con el propósito de revisar la uniformidad de la subrasante a lo largo del tramo se realizaron adicionalmente los diagramas de Índice de Consistencia y PDC, figura No 24. Al analizar en conjunto los resultados se encuentra que prácticamente está compuesta por un solo suelo, MH con IP entre 20 y 59, con humedad variable lo que origina diferencia en la consistencia y resistencia. Las fluctuaciones de humedad se deben al mal estado de la superficie del pavimento y algunas filtraciones de las domiciliarias, dado que en el tramo las condiciones de drenaje natural son uniformes.

Figura No. 24
Perfiles de PDC e Índices de Consistencia, Carrera 9ª



Con base en un análisis de la información obtenida en la evaluación de la resistencia de la subrasante, tanto con el deflectómetro de impacto como con la prueba de CBR con muestra tomada en los apiques y las de PDC, se adoptaron los parámetros de resistencia que la calificaran de manera representativa y confiable con un valor de Módulo Resiliente de diseño de 200 Kg/cm² (CBR de diseño de 2.0%).

En las figuras Nos 25 a 30, se presentan fotografías de los diferentes sondeos realizados en este tramo.

Figura No. 25
Fotografía del sondeo No.1. En la Carrera Novena



Figura No. 26
Fotografía del sondeo No.2. En la Carrera Novena



Figura No. 27
Fotografía del sondeo No.3. En la Carrera Novena



Figura No. 28
Fotografía del sondeo No.4. En la Carrera Novena



Figura No. 29
Fotografía del sondeo No.5. En la Carrera Novena



Figura No. 30
Fotografía del sondeo No.6 En la Carrera Novena



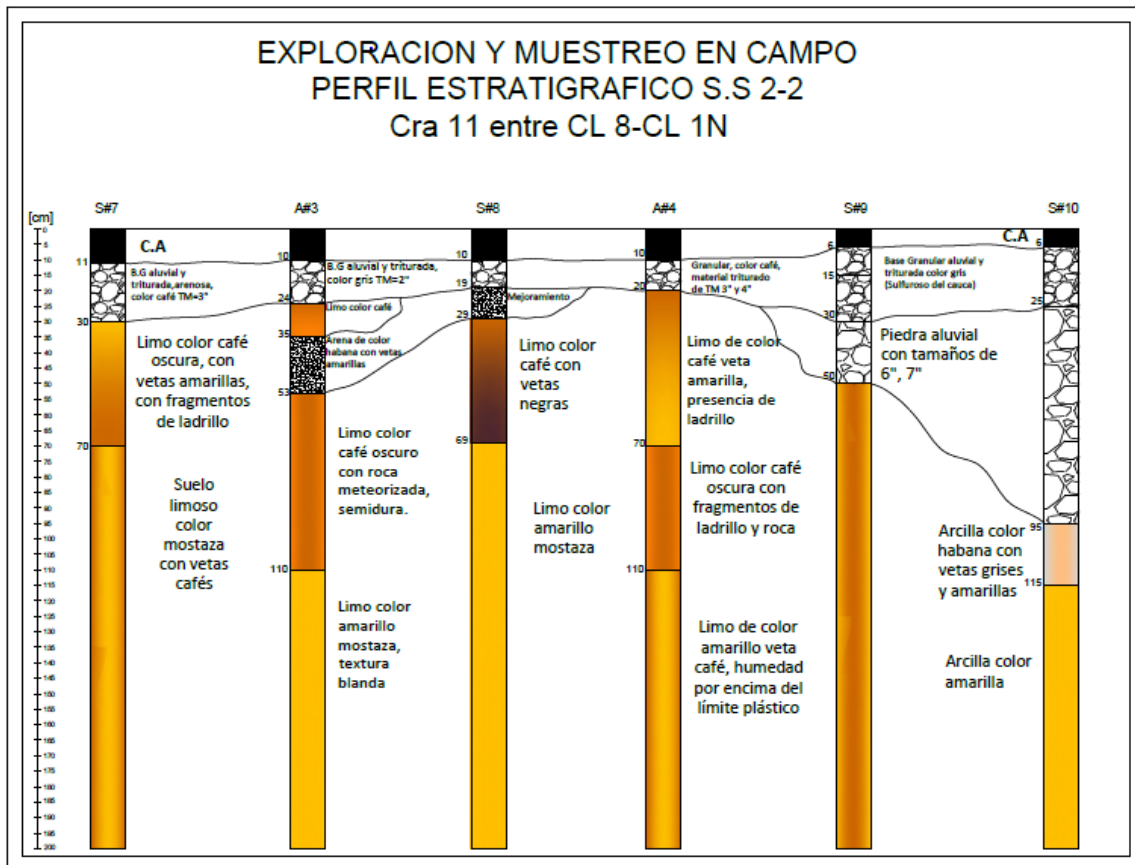
6.4 TRAMO 2. CARRERA 11 ENTRE CALLE 8 - CALLE 1N.

6.4.1 Perfil Estratigráfico

Como se puede apreciar en las columnas estratigráficas correspondientes a este tramo y en el perfil estratigráfico deducido que se presenta en la figura No.27, la estructura del pavimento en el sitio, está constituida por:

- Una carpeta asfáltica con espesor variable entre 6.0cm y 11.0cm.
- Una base granular con espesor variable entre 10.0cm y 24.0cm.
- Subbase granular no tiene
- Una capa de mejoramiento con material aluvial con espesor variable entre 20 y 70 cm, con partículas de gran tamaño (mayores de 5 pulgadas), en la zona comprendida entre la calle 4 y la calle 2, evaluada mediante los sondeos Nos 9 y No.10.
- La Capa de subrasante constituida por un suelo fino limos y arcillas de color variable entresuelo café, amarillo, café con vetas amarillas, y al final en el sondeo No.10 se presenta un suelo de color gris con vetas amarillas.

Figura No. 31
Perfil estratigráfico de la Carrera Once.



En las figuras 31 y 32, se presentan fotografías con los detalles de los sondeos realizados en este tramo, y en las figuras No 33 y 34, se presentan fotografías de los apiques No.3 y No 4, realizados en este tramo.

Figura No. 32
Fotografía del sondeo No.7 En la Carrera Once



Figura No. 33
Fotografía del sondeo No.8 En la Carrera Once



Figura No. 34
Detalles del apique No.3 realizado sobre la carrera Once.

Detalles de la perforación realizada en el apique No. 3



Figura No. 35
Detalles del apique No.4 realizado sobre la carrera Once.

Detalles de la perforación realizada en el apique No. 4



Las características de los materiales que constituyen las diferentes capas de suelo se describen a continuación:

6.4.1.1 Capa De Rodadura

La capa de rodadura en este sector está constituida por un concreto asfáltico con espesor variable entre 6 y 11cm. La capa de rodadura se encuentra, en regular estado con alto grado de figuración, con fisuras tipo piel de cocodrilo, fisuras en

bloque, fisuras longitudinales y transversales, descascaramientos, baches y parches.

6.4.1.2 Capa De Base

La capa de base tiene espesor muy variable, entre 10.0cm y 24.0cm, los cuales en su mayoría son materiales granulares triturados y aluviales con presencia de sobretamaños de 2 a 4 pulgadas.

Las características de esta capa evaluada a partir de muestras tomadas en los dos apiques, se resume en la tabla No. 16

Tabla No. 17
Resultados de la Base Granular.

Características Granulométricas y de Plasticidad de la Base Granular			
	Apique No. 3	Apique No. 4	Especificacion
TAMIZ	% Pasa	% Pasa	% Pasa
1½"	100	100	100
1" (25,4mm)	77	68	70 - 100
¾" (19,05mm)	67	60	60 - 90
3/8" (9,5mm)	50	45	45 - 75
No.4 (4,75mm)	41	38	30 - 60
No.10 (1,70mm)	34	31	20 - 45
No.40 (0,425mm)	23	24	10 - 30
No.200 (0,075mm)	9.8	18	5 - 15
Índice de Plasticidad	NP	NP	
Humedad Natural	4.7 %/	4.9 %	

Clasificación SUCS	GW-GM	GM	
--------------------	-------	----	--

6.4.1.3 Capa De Subbase

En este sector la estructura del pavimento no tiene subbase granular.

6.4.1.4 Capa De Subrasante

La subrasante, o capa de suelo natural, corresponde a un suelo fino limoso de color habano con vetas amarillas, clasificado según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, como limos MH y arcillas CH. Las propiedades físicas y mecánicas de estos suelos se presentan en las tablas No.17 y No.18.

Tabla No. 18
Resumen de resultados de laboratorio del suelo de subrasante

Ap/Son (Abscisa)	Prof (m)	Wn%	LL %	Lp %	Ip %	Ic	Indice PDC mm/golpe	Clasificación SUCS
S#7	0,40	44,8	57,5	39,2	18,3	0,69	55	MH
	0,75	67,0	54,8	37,7	17,1	-0,71		MH
	1,40	80,3						
A#3	0,27	29,1	45,6	33,6	12	1,38	33	ML
	0,60	46,0	80,1	37,7	42,4	0,80		MH
	1,30	71,9	95,7	62,7	34,8	0,72		MH
	1,60	76,9						
S#8	0,24	39,3	51,1	33,2	17,9	0,66	40	MH
	0,70	44,1	54,9	36,3	18,6	0,58		MH
	0,90	58,5	48,3	35,2	13,1	-0,78		ML
	2,00	81,4						
A#4	0,50	28,7	51,7	29,5	22,2	1,04	30	MH
	0,80	31,9	54,5	36,8	17,7	1,28		MH
	1,30	57,1	76,6	42,9	33,7	0,58		MH
	0,50	50,0	66,1	32,1	34,0	0,47	43	MH

Ap/Son (Abscisa)	Prof (m)	Wn%	LL %	Lp %	Ip %	Ic	Indice PDC	Clasificación SUCS
S#9	1,10	62,2						
	1,50	67,4						
S#10	1,00	81,3	60,8	35,9	24,9	-0,82	38	MH
	1,30	82,3	69,9	44,4	25,5	-0,49		MH
	1,50	82,1						

Convenciones: Wn%: Porcentaje de Humedad, LL%:Limite Líquido, IP%:Indice de Plasticidad

En la figura No. 35 se puede apreciar el tipo de suelo de subrasante que se encuentra en la carrera 11 con calle 8, donde para la época del estudio geotécnico, coincidió que el Acueducto estaba realizando reparaciones en esta zona.

Figura No. 36
Detalles del suelo de subrasante en la intercepción de la Carrera 11 con Calle 8. Inicio del tramo de la carrera 11.





6.4.1.5 Características de Resistencia de la Subrasante.

Para la evaluación de la resistencia del tramo, igualmente se combinaron varias alternativas, inicialmente se realizaron estimaciones de la resistencia en los sondeos utilizando el penetrómetro dinámico de cono, posteriormente se realizaron apiques en sitios representativos para medir la resistencia CBR utilizando muestras inalteradas y para complementar los estudios de resistencia, se realizaron evaluaciones deflectométricas con deflectómetro de impacto, para determinar con mayor frecuencia los valores de los módulos resilientes de la subrasante. Esta información del tramo se presenta sintetizada en las tablas No 18,19 y 20.

Tabla No. 19
Resultados de CBR con muestras inalteradas

Apique.	Localización	Densidad Seca gr/cc	SIN SUMERGIR			SUMERGIDO		
			W % penetración	CBR 0.1 “	CBR 0.2 “	% W penetración	CBR 0.1 “	CBR 0.2 “
Apique No. 3	Cra 11 Diagonal a Hotel Casa	1.051	48.8%	3.5	3.2%	52,5%	5.0%	4.9%

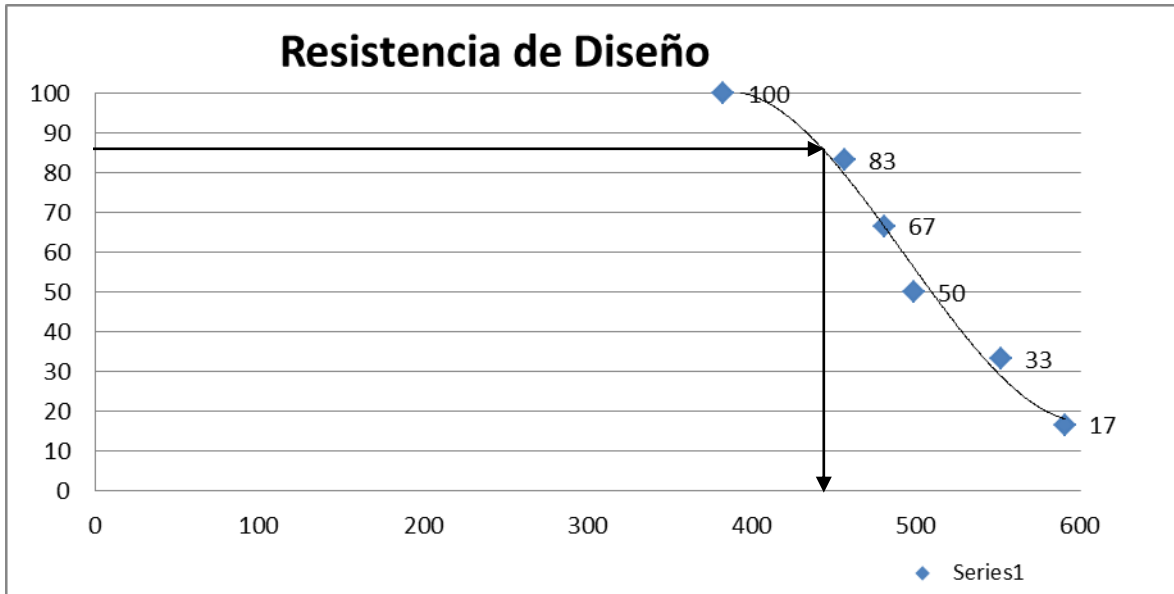
	Blanca # 6- 51.							
Apique No. 4	Cra 11 Frente a # 6- 51.	1.228	34.2%	2.0%	2.2%	37,9%	3.7%	3.9%

Tabla No. 20
Cálculo del módulo resiliente de diseño por medio de estimaciones de resultados de PDC. Carrera once

CARRERA ONCE				PROMEDIO MR	MR DE MENOR A MAYOR	No. Valores de MR	% de Valores de MR
PDC mm/golpe	CBR %	MR Kg/cm ²					
55	3.3	383		494	383	6	100
33	5.8	552			457	5	83
40	4.7	481			481	4	67
30	6.5	591			499	3	50
43	4.3	457			552	2	33
38	5.0	499			591	1	17

Figura No. 37

Resistencia de diseño a partir de correlaciones de ensayo PDC. Carrera once



Como el tránsito equivalente para la carrera novena es de tipo pesado ($>10^6$), en la gráfica se debe entrar con 87.5 % (MR mayores o iguales), así determinamos el MR de diseño que es igual a **410 Kg/cm²**, valor que es alto en comparación con los resultados de laboratorio, lo que nos hace pensar en probables inconvenientes en el desarrollo de los ensayos PDC y en concluir en no tener en cuenta este dato.

Tabla No. 21

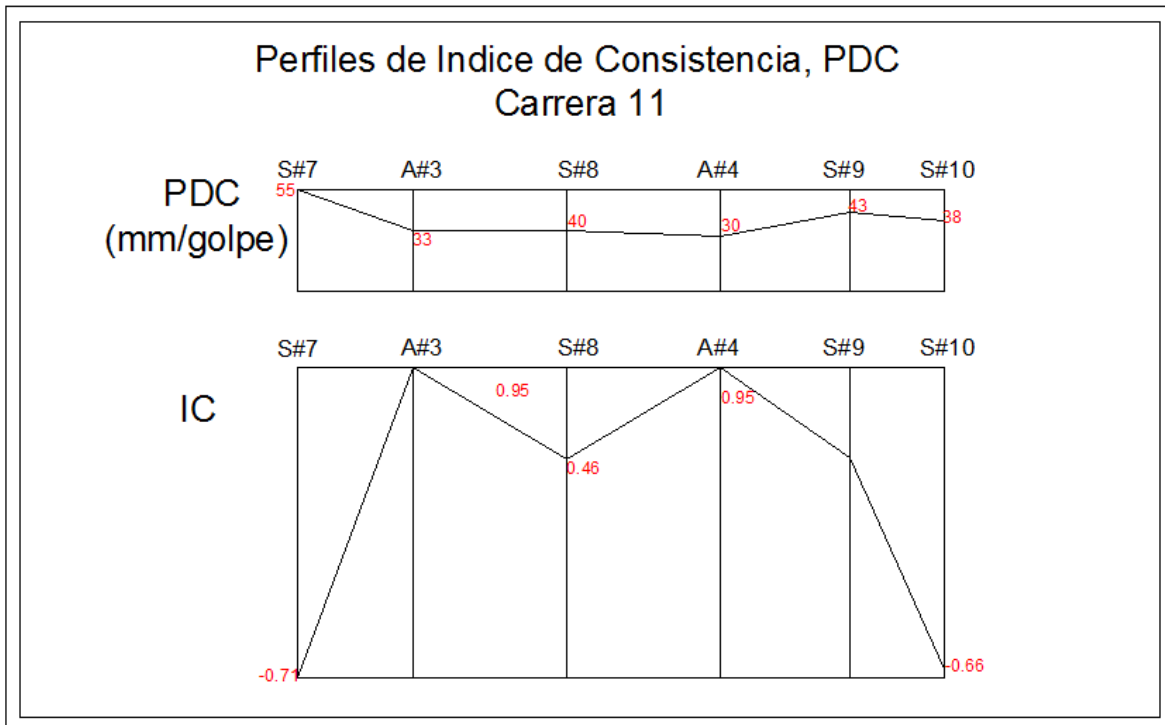
Resultados de módulos resilientes obtenidos con deflectómetro de impacto en la Carrera Once.

Abscisa	Modulo Resiliente Retrocalculado. Mpa	Modulo Resiliente Retrocalculado. Kg/cm ²
0+005	70	231
0+037	53	176
0+053	79	261

0+101	47	156
0+131	45	147
0+151	48	159
0+200	53	175
0+250	66	217
0+284	57	187
0+300	57	187
0+359	53	173
0+400	61	202
0+450	107	354
0+500	132	436
0+550	184	609
0+600	76	250
0+626	61	200
0+650	58	192
0+710	90	296

Con el propósito de revisar la uniformidad de la subrasante a lo largo del tramo se realizaron adicionalmente los diagramas de Índice de Consistencia, PDC y Mr, figura No 38. Al analizar en conjunto los resultados se encuentra que prácticamente está compuesta por un solo suelo, MH con IP entre 17 y 42, con humedad variable lo que origina diferencia en la consistencia y resistencia. Las fluctuaciones de humedad se deben al mal estado de la superficie del pavimento y algunas filtraciones de las domiciliarias, dado que en el tramo las condiciones de drenaje natural son uniformes.

Figura No. 38
Perfiles de Índice de Consistencia y PDC. Carrera 11



Con base en un análisis de la información obtenida en la evaluación de la resistencia de la subrasante, tanto con el deflectómetro de impacto como con la prueba de CBR con muestra tomada en los apiques y las de PDC, se adoptaron los parámetros de resistencia que la calificaran de manera representativa y confiable con un valor de Módulo Resiliente de diseño de 200 Kg/cm² (CBR de diseño de 2.0%).

7. AUSCULTACION GEOTÉCNICA POR MEDIO DE GEORADAR

7.1 INTRODUCCION

La industria de la construcción se enfrenta actualmente a un mercado de competencia, donde prima la calidad y el costo; por eso la falla de cualquier elemento y/o miembro estructural puede ocasionar pérdidas o retrasos importantes en el avance de las obras. Es entonces donde las técnicas no destructivas para la inspección de obras civiles, se convierten en una poderosa herramienta para hacer un diagnóstico de alta calidad y relativo bajo coste.

La técnica de Georadar o GPR (Ground Penetrating Radar) es una técnica no destructiva, relativamente reciente, pues pese a que los primeros ensayos datan

de las primeras décadas del siglo XX, solo hasta la década de los 70's se logró el desarrollo de un método práctico. Los primeros estudios fueron realizados en el área de la geología y glaciología, pero rápidamente se pasó al campo de la ingeniería civil. Las primeras etapas de la investigación fueron encaminadas a la determinación de las propiedades electromagnéticas de los materiales a investigar, y los rangos de frecuencias que presentaban un funcionamiento óptimo, en resolución y penetración. Ya a finales de los 80's e inicio de los años 90's se completa el diseño y la construcción de los primeros equipos, tales como se conocen en la actualidad.

Figura No. 39
Georadar utilizado en el proyecto



7.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

La técnica de Georadar está basada en la emisión y recepción de ondas electromagnéticas. Los principios de funcionamiento de un Georadar no difieren mucho de los de un Radar común, lo que cambia es el medio de propagación; el primero es un material sólido (generalmente no homogéneo), mientras que en el segundo se trata aire (material homogéneo). La incidencia de la energía de una onda electromagnética sobre las heterogeneidades, provocara fenómenos de reflexión, refracción y difracción que serán detectados por la antena receptora. Por lo tanto lo que un GPR detectara, son los cambios en propiedades de los materiales del subsuelo, pues estas propiedades, junto con las características de la onda, serán las que rigen la propagación de la energía por el medio.

7.2.1 PROPAGACION Y RETROSPECCION DE ONDAS

Los principios físicos que rigen el comportamiento de las ondas electromagnéticas al ser propagadas son: la óptica geométrica y la teoría de campos electromagnéticos. A partir de estos dos conceptos es posible llegar a un modelo de propagación y atenuación de la onda. Las variables que rigen este modelo son las propiedades electromagnéticas del medio de propagación (material en estudio), como lo son la conductividad, permisividad dieléctrica y permeabilidad magnética. Ver tabla No.21

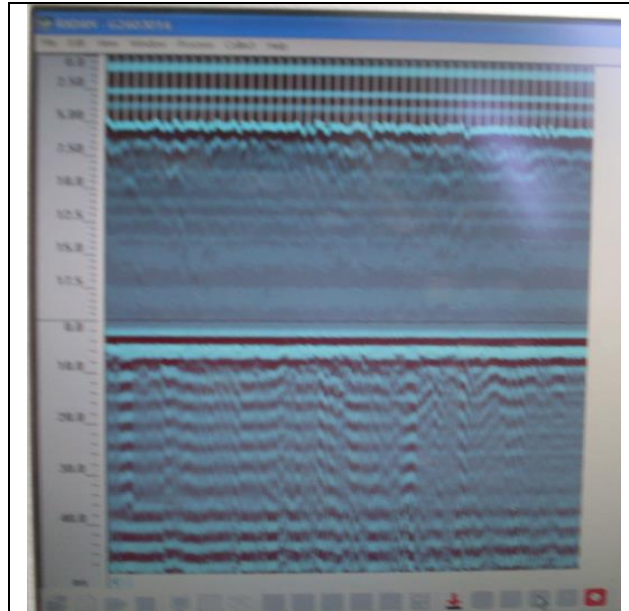
Tabla No. 22
Propiedades electromecánicas de los materiales

Material	Conductividad σ (mS/M)	Velocidad v (m/ns)	Atenuación α (dB/m)
Aire	0	0.3	0
Agua	0.01	0.033	$2 \cdot 10^{-3}$
Arena Seca	0.01	0.15	0.01
Caliza	0.5-2	0.12	0.4-1
Granito	0.01-1	0.13	0.01-1

7.3 PROPAGACION DE ONDAS

Los registros almacenados de las mediciones en el computador, son conocidos como RADAGRAMAS. Los Radagramas son una representación gráfica de las trazas generadas cada vez que se produce un pulso electromagnético, durante la medición. Las trazas corresponden a un vector de energía recibida por reflexión VS tiempo transcurrido desde la generación del pulso.

Figura No. 40
RADAGRAMA TIPICO



7.4 DETERMINACION DE ESPESORES EN PAVIMENTOS

7.4.1 METODOLOGIA

Tan solo, hace unos años se introdujo el uso de Georadares en la determinación de los espesores de las estructuras de los pavimentos como herramienta para determinar el deterioro vial y su periodo de mantenimiento; campo en el cual resulta muy práctico el uso de métodos no destructivos para llevar a cabo la medición de las mismas, de una manera rápida y sin ocasionar daños que en algunas ocasiones pueden ser el inicio de deterioros futuros.

Inicialmente es importante tener claro que las propiedades electromagnéticas de los materiales varían de acuerdo a las condiciones in situ, grado de compactación, humedad, composición química, condiciones atmosféricas, etc.; por lo cual no es posible ubicarlos, en rangos que nos permitan definir sin ningún tipo de incertidumbre a que material corresponde el tipo de señal recibida.

Por lo anteriormente mencionado se realizan calibraciones antes de tomar las mediciones definitivas con el Georadar.

Para la realización de las calibraciones se toman medidas con el Georadar, y posteriormente por intermedio de apiques o núcleos (Figura No. 40). De esta manera se miden los espesores de la estructura de pavimento de forma directa (en campo), y de forma indirecta (Georadar). Este proceso se repite cuantas veces

sea necesario hasta llegar a una calibración que satisfaga las expectativas y necesidades de las mediciones futuras.

Figura No. 41
Apique de Calibración



7.5 RESULTADOS DE USO DE GEORADAR EN EL PROYECTO DE MOVILIDAD. TRAMOS CARRERA 9ª Y 11.

Tabla No. 23

SONDEO O APIQUE	TRAMO	ABSCISA	ESPESOR DE CARPETA (GEORADAR)	ESPESOR CARPETA (APIQUES)
S#1	1	K0+050	9	11
	1	K0+100	11	
S#2	1	K0+150	14	18
	A#1	1	K0+200	13
		1	K0+250	12
S#3	1	K0+300	12	15
S#4	1	K0+350	12	13
S#5	1	K0+400	13	16
	1	K0+450	15	
	1	K0+500	16	
	1	K0+550	17	
S#6	1	K0+600	18	17
A#2	1	K0+650	16	12
	1	K0+700	16	
	1	K0+750	11	

	1	K0+800	8	
	1	K0+850	7	
	1	K0+900	7	
	1	K0+950	6	
	1	K1+000	6	
S#7	2	K0+050	11	11
A#3	2	K0+100	11	10
	2	K0+150	11	
	2	K0+200	11	
	2	K0+250	11	
S#8	2	K0+300	10	10
A#4	2	K0+350	9	10
	2	K0+400	7	
	2	K0+450	6	
S#9	2	K0+500	6	6
	2	K0+550	5	
S#10	2	K0+600	6	6
	2	K0+650	7	
	2	K0+700	11	

Se puede notar la gran similitud entre los espesores de carpeta asfáltica obtenida por medio del georadar con las obtenidas en el estudio geotécnico por medio de los sondeos y apiques.

8. Conclusiones

Con el fin de realizar estudios para diseños de estructuras nuevas o diseño de rehabilitaciones se recomienda:

- Efectuar un reconocimiento visual de las zonas que hacen parte del proyecto, con el objeto fundamental de realizar un diagnóstico preliminar.
- La búsqueda, recopilación y análisis de información secundaria deberá contemplar aspectos principales como antecedentes de proyectos, estudios y normatividad, en lo relacionado con geología, geomorfología, hidráulica e hidrología, cartografía, uso del suelo, y en general todos aquellos aspectos que permitan tener un adecuado conocimiento del proyecto desde el punto de vista geotécnico.
- Dependiendo de su aplicabilidad, se debe efectuar un reconocimiento del estado del drenaje superficial.
- Llevar un cuidadoso registro fotográfico de todo el reconocimiento visual y efectuarse un inventario de las condiciones geológicas y geotécnicas más importantes del proyecto.
- Se deben efectuar apiques o sondeos, referenciados a la nomenclatura urbana, o por coordenadas del levantamiento topográfico. La profundidad de las exploraciones deberán ser como mínimo 1.50 m (de acuerdo con la estratigrafía presentada y con las condiciones geotécnicas del sitio). Se entiende por apique una excavación cuyas dimensiones permitan la identificación de las capas de pavimento existente y la toma de muestras para la caracterización de la subrasante, aclarando además que luego de cualquier intervención efectuada durante las actividades de campo, se deberán restituir las condiciones originales con el fin de garantizar la movilidad y seguridad en las zonas intervenidas. Es indispensable además presentar dentro de los informes respectivos, un cuidadoso registro fotográfico de estos trabajos.
- El trabajo de campo consiste en la toma de muestras de los materiales de subrasante y de la estructura del pavimento existente, si la hay, así como la ejecución de ensayos que permitan determinar las principales características de los materiales de subrasante y de las diferentes capas de la estructura del pavimento, cuando éste exista, sus espesores, condiciones de trabajo y estado general.
- Es importante aclarar además, que cuando se efectúen ensayos de campo, éstos también deberán quedar debidamente referenciados.
- Se reitera que de acuerdo con los resultados del reconocimiento visual del sitio de los trabajos y de la recopilación y análisis de información

secundaria, el consultor deberá poner a consideración de la interventoría las cantidades de apiques o sondeos y ensayos requeridos durante la Etapa de Factibilidad para cumplir con el alcance definido para esta.

- En todo caso, debe establecerse el perfil estratigráfico y con base en él establecer las capas y los ensayos requeridos para su adecuada caracterización mecánica. Sin perjuicio de las indicaciones mencionadas anteriormente será de completa responsabilidad del Consultor definir el número mínimo de ensayos de campo y laboratorio que permitan llevar a cabo un estudio confiable, y de acuerdo con las características particulares del proyecto. Para los estudios y diseños se realizarán los demás ensayos que complementen la caracterización geotécnica y de pavimentos requerida para un estudio completo. Es importante aclarar que el consultor, deberá someter a aprobación de la interventoría el plan de investigación geotécnica para pavimentos, realizando además la correspondiente valoración económica para esta actividad, y teniendo en cuenta los requerimientos de calidad y el valor total disponible para la investigación del subsuelo para todas las obras del proyecto.
- El consultor deberá inicialmente efectuar el inventario de los segmentos viales pertenecientes al proyecto, considerando aspectos básicos para cada segmento como longitud, ancho de calzada, pendiente, número de carriles, bahías, inventario de señales y drenajes.
- Adicionalmente, y como una de las actividades fundamentales de los estudios para el Diseño de Pavimentos durante la Etapa de Factibilidad, se deberá efectuar un diagnóstico con el objeto de conocer el estado superficial, estructural y la capacidad de soporte de la subrasante, de cada uno de los segmentos, y así determinar el nivel de intervención requerido para soportar las solicitaciones de carga establecidas mediante el Estudio de Tránsito, es decir, garantizar que con las condiciones de tráfico, se cumplirá con los requerimientos de vida útil establecidos por el Instituto Nacional de Vías.
- Se ha estimado la medición de deflexiones mediante deflectómetro de impacto, específicamente el FWD (Falling Weight Deflectometer). Sin embargo, el plan para la ejecución de estas mediciones debe someterse previamente a consideración y aprobación de la interventoría, de acuerdo con las características particulares del proyecto, para la consecuente aprobación por parte de ésta, y la valoración económica necesaria en concordancia con el presupuesto disponible para la investigación geotécnica.

10. BIBLIOGRAFÍA

- POLANCO FLOREZ MARGARITA, Principios Básicos de Mecánica de Suelos (Colombia): Universidad del Cauca.
- INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO (IDU). Diseño de Pavimentos
- INSTITUTO NACIONAL DE VIAS (INVIAS), Manual para la Inspección Visual de Pavimentos Flexibles
- INSTITUTO NACIONAL DE VIAS (INVIAS), Manual para la Inspección Visual de Pavimentos Rígidos
- INSTITUTO NACIONAL DE VIAS (INVIAS), Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras
- <http://www.invias.gov.co/>

ANEXO No. 1
ESTUDIO GEOTECNICO
EXPLORACION Y MUESTREO EN EL CAMPO